003 Economía Inclusiva

Bioeconomía para el siglo XXI

Actualidad de Nicholas Georgescu-Roegen

Luis Arenas
José Manuel Naredo
Jorge Riechmann
(eds.)

FUHEM ecosocial

CATARATA

003 Economía Inclusiva

Bioeconomía para el siglo XXI

Actualidad de Nicholas Georgescu-Roegen

Luis Arenas
José Manuel Naredo
Jorge Riechmann
(eds.)

FUHEM ecosocial

CATARATA

003 Economía Inclusiva

Bioeconomía para el siglo XXI

Actualidad de Nicholas Georgescu-Roegen

Luis Arenas
José Manuel Naredo
Jorge Riechmann
(eds.)

FUHEM ecosocial

CATARATA

FUHEM ECOSOCIAL

Espacio de reflexión, encuentro y debate que analiza las tendencias y los cambios profundos que configuran nuestro tiempo desde una perspectiva crítica y transdisciplinar.http://www.fuhem.es/ECOSICIAL/

Luis Arenas, José Manuel Naredo

y Jorge Riechmann (eds.)

Bioeconomía para el siglo XXI

Actualidad de Nicholas Georgescu-Roegen

colección economía inclusiva

Este libro se inscribe en dos proyectos de investigación universitarios: el primero, “Racionalidad económica, ecología política y globalización: hacia una nueva racionalidad cosmopolita”, cuyos investigadores principales son Luis Arenas y Juan Manuel Aragüés (Universidad de Zaragoza). Referencia: PID2019-109252RB-I00. El segundo es “Humanidades ecológicas y transiciones ecosociales. Propuestas éticas, estéticas y pedagógicas para el Antropoceno”, cuyos investigadores principales son José Luis Albelda Raga y Paula Santiago (ambos del Centro de Investigación de Arte y Entorno de la UPV, Universidad Politécnica de Valencia). Referencia: PID2019-107757RB-I00.

Diseño de colección: Pablo Nanclares

© de los textos, sus autores, 2022

© Fuhem ecosocial

AVDA. DE PORTUGAL, 79 POSTERIOR

28001 MADRID

TEL. 91 575 21 09

WWW.FUHEM.ES

© Los libros de la Catarata, 2022

Fuencarral, 70

28004 Madrid

Tel. 91 532 20 77

www.catarata.org

Bioeconomía para el siglo XXI.

Actualidad de Nicholas Georgescu-Roegen

isbne: 978-84-1352-568-6

ISBN: 978-84-1352-500-6

DEPÓSITO LEGAL: M-16.667-2022

THEMA: KCA/KCP/KCS

este libro ha sido editado para ser distribuido. La intención de los editores es que sea utilizado lo más ampliamente posible, que sean adquiridos originales para permitir la edición de otros nuevos y que, de reproducir partes, se haga constar el título y la autoría.

PRÓLOGO

Un buen momento para releer a Nicholas Georgescu-Roegen

Luis Arenas, José Manuel Naredo y Jorge Riechmann

En diciembre de 2021 Manuel Rodríguez Rivero se refería a una reciente obra sobre teoría Gaia como "un libro importante que habría que haber leído hace medio siglo y cuyas enseñanzas quizá lleguen tarde". En realidad, hay toda una estantería de libros (de pensamiento ecológico, en sentido amplio) que por desgracia caen bajo esa descripción. Y entre ellos, en lugar muy destacado, se halla sin duda un volumen del economista rumano Nicholas Georgescu-Roegen. En 2021 se cumplió exactamente medio siglo de la publicación de The Entropy Law and the Economic Process, un libro cuya importancia y profundidad para diagnosticar los problemas de la modernidad tardía no han hecho sino aumentar desde que vio la luz. Su publicación en 1971 debió haber constituido sin lugar a dudas uno de los hitos más notables de las ciencias humanas del siglo XX, pues con ella Georgescu-Roegen ponía las bases de una revolución en la teoría económica moderna que hubiera tenido que marcar un punto de inflexión en el análisis de los fenómenos económicos: lo que Nicholas Georgescu-Roegen llamó bioeconomía y luego se ha desarrollado como economía ecológica (o como el enfoque ecointegrador que en nuestro país viene proponiendo José Manuel Naredo).

Es tristemente evidente que las implicaciones de esa revolución —especialmente en un horizonte de tensiones ecopolíticas como el que enfrentamos en la actualidad— están aún por ser ponderadas adecuadamente en el seno mismo de la economía. Pero, sea como fuere, las consecuencias de las ideas de Georgescu-Roegen desbordan el estrecho marco de la disciplina económica, como atestiguan las contribuciones del volumen que presentamos: por

decirlo en la acertada formulación de Ernest Garcia, “además de una objeción radical a las ilusiones del crecimiento económico, [la obra de Georgescu-Roegen] despliega inquietudes intelectuales de una amplitud oceánica y una diversidad desconcertante”.

El efecto de La ley de la entropía y el proceso económico se asemeja, pues, al de una piedra lanzada sobre el agua remansada: a medida que pacientemente se extraen los corolarios de sus ideas, observamos cómo en sucesivas ondas concéntricas y expansivas comienzan a tambalearse los presupuestos materiales en que han descansado hasta hoy las sociedades industriales y, con ello, un sinnúmero de disciplinas se ven obligadas a reajustar sus supuestos y reorientar sus expectativas (desde la tecnología a la epistemología, desde la política a la estética, desde la ética a la sociología, por citar solo aquellas que han sido convocadas en el presente volumen). La obra de Georgescu-Roegen constituía entonces —y con más razón constituye hoy— un perfecto antídoto para corregir la obstinada desconexión que el saber contemporáneo establece entre disciplinas científicas naturales, sociales o humanistas.

Quienes estén interesados en el alcance de la revolución de Georgescu-Roegen para la disciplina económica podrán leer con provecho los trabajos de Óscar Carpintero, Herman E. Daly, José Manuel Naredo, Joan Martinez Alier o Mauro Bonaiuti incluidos en este volumen. En todo caso, cabría resumir el núcleo de la contribución económica de Georgescu-Roegen en lo siguiente: La ley de la entropía y el proceso económico consistió en hacer ver el carácter entrópico de cualquier proceso de intercambio energético como es, entre otros, el proceso económico, y en sacar las implicaciones que se derivan de ello para el planeta Tierra que, a excepción de la energía procedente del Sol, resulta casi cerrado termodinámicamente. Entre otras, una de esas consecuencias —en realidad la idea fija que sirvió de palanca a la revolución de Georgescu-Roegen— pasa por cobrar consciencia de que la economía es un subsistema necesariamente integrado en los ciclos de la naturaleza y no al revés, como inconsciente e insensatamente parece creer la ortodoxia económica dominante.

Pero las implicaciones del libro de Georgescu-Roegen desbordan

con mucho lo estrictamente económico. De entrada la ley de la entropía hace que debamos tomar consciencia de la rareza termodinámica de los minerales y, con ello, de la pérdida del capital mineral del planeta que acompaña al potente extractivismo asociado al crecimiento económico. Antonio Valero y Alicia Valero —cuya contribución en este libro supone una síntesis de décadas de su trabajo sobre este particular[1]— llevan años sugiriendo diversos medios para evaluar dicha rareza termodinámica y tratando de presentar una definición de huella material, medida tanto en unidades energéticas como en hectáreas, que haga del concepto de rareza termodinámica un concepto mensurable como es el de "huella de deterioro ecológico". Sus investigaciones nos enfrentan al hecho de que, dada la dotación de capital mineral del planeta —también sujeta a la ley de la entropía—, sacar las consecuencias de las ideas de Georgescu-Roegen implica asumir que la solución renovable al cambio climático se enfrena al problema de la falta de materias primas críticas asequibles para atenuarlo y cobrar conciencia de la necesidad desarrollar estrategias de desmaterialización, de imitación de la naturaleza y de una economía en espiral.

De hecho, como sostuvo Jacques Grinevald en su trabajo "La figura de Georgescu-Roegen desde el ángulo de la sociología de la ciencia" (presentado en Madrid en la jornada organizada desde la Fundación Argentaria en noviembre de 1997), lo que se hallaba en juego no era solo la pertinencia metodológica de la ley de la entropía (el segundo principio de la termodinámica) para analizar y explicar el proceso económico, sino también la significación epistemológica y ontológica de la segunda ley en su calidad de "flecha del tiempo" para nuestra visión científica del mundo. Hablar de una revolución que está todavía por hacer en la mismísima economía y más en general, como sugieren los textos de José Manuel Naredo y de Jorge Riechmann en este volumen, no resultaría exagerado: una revolución teórica, epistemológica y cosmovisional que por desgracia no tuvo lugar, como atestigua el desconocimiento de su figura entre el gran público y (lo que resulta aún más preocupante) entre sectores muy relevantes de la teoría económica contemporánea.

En ese sentido, el "caso Georgescu-Roegen" nos sigue perturbando,

inquietando y entristeciendo. Las sociedades industriales no han estado a la altura —intelectual, ética, política— de los problemas que ellas mismas han creado. El trabajo de Georgescu-Roegen, centrado en la necesidad de un cambio de paradigma en teoría económica, suponía un excelente punto de partida para una reorientación civilizatoria en las luchas y los debates de los años setenta. Por desgracia, sus adversarios ganaron la partida. Ha pasado medio siglo desde que el economista rumano demoliera las funciones de producción y consumo sobre las que se construyeron las metas de crecimiento y desarrollo económico, pero el grueso de los economistas sigue oficiando con ellas en sus rituales como si nada hubiese pasado. Que se pudiera cancelar (por emplear el término de moda) a Georgescu-Roegen de forma tan completa (pero científicamente tan indefendible) constituye un episodio de la historia de las ideas del siglo XX que seguirá planteando perplejidades a los y las historiadoras del siglo XXIII (si es que hay a esa altura seres humanos que puedan plantearse tales preguntas).

Pero más allá de sus contribuciones científicas y sin abandonar la fría objetividad que brota de consideraciones termodinámicas de la economía, la obra de Georgescu-Roegen suponía una enorme sacudida intelectual en el terreno de la cultura, de las ideas y de las formas de vida que acompañaban al capitalismo fosilista (y de la influencia de Georgescu-Roegen en el arte de su época da buena cuenta, por ejemplo, la contribución de Jaime Vindel).

La ley de la entropía y el proceso económico alertaba del problema del agotamiento de recursos y de la insostenibilidad termodinámica de un sistema económico que exige un crecimiento perpetuo y daba la voz de alerta a la crónica dependencia de ese capitalismo fosilista de lo que Adrián Almazán y Ramón del Buey denominan las "tecnologías imperiales" propias de ese Prometeo II acelerado que ha dado forma a la sociedad industrial. Pero el libro de Georgescu-Roegen también nos ponía frente a las implicaciones morales y políticas que tarde o temprano habríamos de enfrentar si seguíamos por la senda por la que el mundo ha venido transitando desde entonces (y las contribuciones de Luis Arenas y Emilio Santiago Muíño tratan de hacerse cargo justamente de algunas de esas implicaciones ético-políticas de la obra de Georgescu-Roegen).

Lo que en 1971 era un peligroso horizonte futuro, en el tercer decenio del tercer milenio se impone como el más grave problema que nuestro tiempo ha de abordar. Por eso en otoño de 2021, con ocasión del cincuentenario de la publicación de La ley de la entropía y el proceso económico, los editores de este volumen impulsamos una serie de encuentros entre especialistas nacionales e internacionales a lo largo y ancho de la geografía española. En ellos se analizó, evaluó y difundió el legado del gran economista rumano afincado en Estados Unidos[2]. Gracias al impulso proporcionado por estas jornadas, y recuperando algunos textos que se escribieron o tradujeron para un encuentro anterior organizado en el Programa Economía y Naturaleza de la Fundación Argentaria en noviembre de 1997, hemos compuesto el presente volumen. Con él tratamos de contribuir al conocimiento y a la discusión de un autor clave para comprender la naturaleza de los desafíos ecosociales que se ciernen sobre nuestras fatigadas sociedades tardocapitalistas. Si bien cualquier momento del último medio siglo ha sido bueno para releer a Georgescu-Roegen, su lectura resulta en la actualidad una obligación ineludible. A un mundo obsesionado con la idea de crecimiento económico como único telos de sus desvelos, habrá que repetirle las veces que sea necesario aquella simple verdad que Georgescu-Roegen no se cansó de recordarnos: que “el verdadero producto del proceso económico es [o debería ser] un flujo inmaterial: el placer de vivir” (Georgescu-Roegen, 1996: 64).

PARTE I

AMPLIAR EL ENFOQUE ECONÓMICO: NECESIDAD DE UN CAMBIO DE PARADIGMA

De la revolución carnotiana al descubrimiento del aspecto entrópico del proceso biotecnoeconómico. En memoria de Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994)*[3]

Jacques Grinevald

Antes que nada me gustaría agradecer y felicitar a los impulsores y organizadores de esta feliz iniciativa de las jornadas sobre Georgescu-Roegen en varias ciudades de España, con motivo del quincuagésimo aniversario de la publicación de The Entropy Law and the Economic Process del profesor Nicholas Georgescu-Roegen. No conozco en otros países europeos ni en el resto del mundo una iniciativa similar a este programa español de conferencias transdisciplinares para conmemorar con dignidad aquel annus mirabilis de 1971 marcado por el gran libro fundamental y fundador de Nicholas Georgescu-Roegen.

The Entropy Law and the Economic Process llegó justo a tiempo, en pleno apogeo de la "revolución ambiental" (Max Nicholson) que cabría considerar como una nueva "revolución copernicana" que pone a la Tierra —nuestro "planeta hogar"— en el centro de las preocupaciones teóricas y prácticas de la civilización industrial avanzada. La publicación del opus magnum de Georgescu-Roegen no fue un hecho aislado; forma parte de un vasto movimiento de renacimiento intelectual marcado por toda una serie de otras publicaciones aparentemente cercanas a Georgescu-Roegen, pero que causaron más calor que luz en torno suyo (Commoner, 1971; Harte y Socolow, 1971; Glansdorff y Prigogine, 1971; H.T. Odum, 1971). La fecha convencional de 1971 (de la era cristiana y del calendario gregoriano más universal que nunca, ¡pero también él mismo con fecha de nacimiento propia!) es además un periodo histórico rodeado de una penumbra dialéctica, para hablar como Georgescu, pues es cierto que tal discontinuidad forma parte de una línea cronológica irreversible en una coevolución más larga entre el ser humano y su medioambiente, el pequeño planeta Tierra, el

único planeta vivo del sistema solar (el cosmos en el sentido antiguo del término).

No hay que olvidar que The Entropy Law and the Economic Process, un libro casi inclasificable y tan impactante por la profundidad y diversidad de análisis, temas, ideas y referencias científicas y filosóficas que contiene, no pasó del todo desapercibido en su tiempo, como a veces se cree hoy en día. Un poco como sucedió con Die Entstehung der Kontinente und Ozeane [El origen de los continentes y los océanos], de Alfred Wegener, The Entropy Law and the Economic Process fue discutido, incomprendido, rechazado y luego olvidado por la mayoría de la ortodoxia del mundo científico y académico. En ambos casos, el aspecto multidisciplinario y heterodoxo fue uno de los obstáculos para la adecuada recepción de un long argument [discusión de largo aliento], semejante a la que presentó Charles Darwin en Sobre el origen de las especies en la Inglaterra victoriana de 1859, con los malentendidos y las controversias que todos conocemos. La "revolución científica", la invención intelectual, la innovación que trastoca las tradiciones, los hábitos y los conformismos de la época rara vez se aceptan sin controversias y reacciones más o menos duraderas. La revolución copernicana, o más bien galileana, no ocurrió de la noche a la mañana, como tampoco Roma se construyó en un día.

El estudio comparativo de la recepción de las tesis epistemológicas y ontológicas del autor de Analytical Economics, y luego The Entropy Law and Economic Process (y después Energy and Economic Myths) ha sido objeto de numerosas publicaciones, pero está lejos de haberse completado. Esta inmensa y difícil obra de Georgescu-Roegen (sin olvidar los numerosos textos que deberían haber formado parte del libro Bioeconomics, encargado por Princeton University Press, pero que nunca vio la luz) no ha sido considerada desde un punto de vista transdisciplinar suficientemente general. El contexto científico, ideológico, económico y político de su época a menudo no ha sido tenido lo bastante en cuenta ni se ha explorado en profundidad de una manera histórico-crítica, a pesar de las huellas y pistas que dejó el profesor Nicholas Georgescu-Roegen en sus tres grandes libros de los años sesenta y setenta del siglo XX.

No podemos conformarnos con evaluar la contribución de Nicholas Georgescu-Roegen a la ciencia económica moderna (Daly, ed., 1997) o, como lo hacemos hoy, a los orígenes de la economía ecológica y la ecología industrial, áreas interdisciplinares que no existían en 1971 (ni siquiera en 1976 cuando Georgescu-Roegen publicó su tercer gran libro, Energy and Economic Myths). Más bien tenemos razones para incluir el nuevo enfoque transdisciplinar de The Entropy Law and the Economic Process en el singular recorrido intelectual de su autor, cuyo recorrido personal se sitúa en el centro de las tragedias políticas del siglo XX.

De entrada, debemos retornar una y otra vez, antes del gran libro de Georgescu-Roegen de 1971, a la larga "Introducción" (más de cien páginas) de su primer trabajo titulado Analytical Economics: Issues and Problems, publicado por Harvard University Press en 1966, con un elogioso prefacio de su amigo Paul Samuelson. La celebridad del gran libro de 1971, dedicado a "To my teachers" (sin desviarse de la tradición de la reverencia a los ancianos —¡"caminar sobre los hombros de gigantes" obliga!), a menudo induce a olvidar esta introducción. La cronología histórica resulta particularmente importante en este caso, porque hay que tener en cuenta las bifurcaciones imprevisibles que marcan la evolución de esa larga "vida rota en pedazos" de Nicholas Georgescu-Roegen (según expresión de sus propias "notas autobiográficas", escritas hacia el final de su vida).

El auge tardío de la economía ecológica —mucho después de la publicación de The Entropy Law and the Economic Process— convirtió el nombre de Nicholas Georgescu-Roegen en una figura pionera "adelantada a su tiempo" (De Gleria, 1995) y durante largamente incomprendida. Más recientemente aún, la visibilidad mediática de esta minoría activa de la ecología política radical que postula el "decrecimiento", especialmente en Francia, ha convertido a Nicholas Georgescu-Roegen en uno de sus muchos "precursores" (Latouche, 2016). Pero en la historia del pensamiento científico, en la historia de la ciencia y las ideas, también hemos de tener en cuenta el surgimiento de la novedad, la invención en el orden de la creatividad intelectual (como lo enseñaron Henri Bergson y Edouard Le Roy); y por eso debemos desconfiar de esta noción falaz de precursor (Hamilton y Grinevald, 2015). Aunque admito mi

parte de responsabilidad en ciertas lecturas retrospectivas de la "revolución bioeconómica" del gran Georgescu-Roegen, en particular dentro del movimiento del decrecimiento.

Sin aceptar el argumento que considero mal informado, entiendo la crítica desarrollada recientemente por un joven y brillante economista e historiador del pensamiento económico del Centro Walras-Pareto de la Universidad de Lausana, Antoine Missemer (2013, 2017). Missemer me acusa explícitamente de ser el autor de un "golpe de mano" con el título del librito Demain la décroissance (Georgescu-Roegen, 1979c), que se convirtió, con bastante más éxito, en La Décroissance en su segunda edición de 1995 (que es en realidad otro libro enteramente distinto y de mi exclusiva responsabilidad). El amable Antoine Missemer, con quien tuve la ocasión de hablar, simplemente ignora mi relación personal (generalmente en francés) con Nicholas Georgescu-Roegen. Parece desconocer el hecho de que Georgescu estaba encantado con que pusiera en escena para un público amplio sus nuevas ideas bioeconómicas, hasta el punto de distribuir él mismo entre sus amigos copias de Demain la décroissance tras invitarme a Estados Unidos (mi único viaje a Nueva York, Chicago y Nashville). Decir (como también lo hace Serge Latouche) que el término decrecimiento no existe en el vocabulario de Georgescu-Roegen es confundir palabras y conceptos e ignorar el pensamiento profundo de Georgescu-Roegen alrededor de los años sesenta y setenta del siglo pasado. El término inglés decline [declive] utilizado por Georgescu podría traducirse por decrecimiento (de lo contrario, Georgescu, que dominaba el francés perfectamente, habría protestado enérgicamente).

Las famosas curvas en forma de campana de Hubbert, que representan la evolución temporal de la extracción de un recurso mineral no renovable como el petróleo, eran bien conocidas por Georgescu-Roegen. El autor de The Entropy Law and the Economic Process se situaba él mismo en la senda de The Coal Question de Jevons (1865), a quien cita en el mismo comienzo del libro. Excelente conocedor como era de la historia de las ideas económicas de Occidente, igual que su maestro Schumpeter y algunos otros (como Veblen), Georgescu sabía bien que Jevons (1865) había citado en un exergo a Adam Smith (quien, como todos

los clásicos, no imaginaba un crecimiento económico ilimitado): "The progressive state is in reality the cheerful and the hearty state to all the different orders of the society; the stationary is dull; the declining melancholy."[4]

Las relaciones recíprocas entre pensamiento económico y pensamiento científico no son nuevas en la historia del pensamiento occidental. Ocurre simplemente que desde la década de 1950 tendemos a olvidar la deriva formalista y aritmomórfica del pensamiento económico neoclásico y la matematización de dicha ciencia económica. Georgescu-Roegen denunciará muy pronto los excesos de tal teoría y el olvido de la complejidad cambiante de la realidad siempre en gestación, debido precisamente a la ley de la entropía creciente formulada por el físico alemán Rudolf Clausius (1867). Clausius subrayó el hecho de que esta ley introduce la irreversibilidad del tiempo y arruina para siempre el mito del eterno retorno (Eliade, 1949), que había encontrado una curiosa actualidad en las controversias provocadas por el inesperado descubrimiento de la entropía por parte de la "teoría mecánica del calor" y sus asombrosas implicaciones cosmológicas, metafísicas y religiosas (Grinevald, 1973; Serres, 1977; Neswald, 2006; Kracht, 2008). Este contexto cultural que se remonta a la segunda mitad del siglo XIX forma parte sin duda de la historia social del "principio de Carnot", que se convirtió en la ley de la entropía con Clausius, Boltzmann y Planck, pero también con Bergson, Eddington y Georgescu-Roegen.

Durante los últimos cincuenta años, nuestro mundo (tanto social como natural) ha cambiado a un ritmo verdaderamente acelerado y mucho más rápido de lo que normalmente pensamos. Ya no se trata solo de la famosa "aceleración de la historia", de la que se habla desde la industrialización de Europa en el siglo XIX, sino de "la aceleración evolutiva" de la que François Meyer, el añorado epistemólogo de la biología teórica y la "problemática de la evolución" (Meyer, 1954), nos habló durante años (véase Grinevald, 1990 y 2007). Sin las mediciones y los gráficos numéricos que ilustran las curvas exponenciales y superexponenciales de la "Gran Aceleración" del Antropoceno (Steffen, Grinevald et al. 2011) sin duda es difícil apreciar completamente La surchauffe de la croissance (Meyer, 1974). François Meyer reaccionó frente al

“Informe Meadows” para el Club de Roma, The Limits to Growth (1972), de una manera matizada, muy cercana a la de Georgescu-Roegen en su controvertido artículo más importante, “Energy and economic myths” (Georgescu-Roegen, 1975a) —que yo mismo introduje en la literatura del Antropoceno (sin mucho éxito hasta ahora—. No hemos enfatizado lo suficiente el parentesco de la filosofía biológica de la tecnología mecánica de Georgescu-Roegen con toda una corriente evolutiva que se remonta a Darwin y Butler, pasa por el joven Marx, se desarrolla en las cercanías de la ciencia de las máquinas (R. Wallis, F. Reuleaux, J. Lafitte) y se expresa explícitamente en Lotka, y después en autores franceses como Bergson, Le Roy, Teilhard, Raymond Ruyer, Leroi-Gourhan o François Meyer, ambos inspirados en Carnot y Cournot. De ahí la relevancia, en mi opinión, de hablar de la evolución “biotecnoeconómica” del Homo sapiens faber, para subrayar el aspecto instrumental, propiamente exosomático, del “metabolismo industrial” (en el sentido más amplio del término) del ser humano considerado como un “grupo zoológico” singular en la evolución de especies que coevolucionan sobre “la faz de la Tierra” (Moscovici, 1968; Grinevald, 1979, 1990 y 2006; Naredo y Gutiérrez, eds., 2005). Si el proceso económico puede y debe ser considerado como la extensión, por otros medios (exosomáticos), de la evolución biológica y cultural del Homo sapiens faber (según el concepto de Vladimir Vernadsky que combina la terminología de Linneo con la de Bergson), ello es esencialmente por este proceso biológico de exteriorización de la creatividad humana en sus relaciones con el entorno —el “entorno cósmico”, como decía Claude Bernard y que sirvió de gran inspiración a Vernadsky—. El término biotecnoeconómico no le pareció necesario a Georgescu, con quien hablé mucho de él. Lo consideraba un pleonasmo tras haber comenzado a usar bioeconómico después de una carta de Jiri Zeman, del Instituto de Filosofía de la Academia de Ciencias de Praga, quien le había invitado a escribir un artículo sobre “los aspectos bioeconómicos de la entropía” (Georgescu-Roegen, 1975b) para un libro colectivo sobre entropía e información (Kubat y Zeman, eds., 1975), que constituiría la continuación de un volumen anterior titulado Time in Science and Philosophy (Zeman, ed., 1971) —y en el que se había señalado la ausencia (por una simple cuestión de cronología y la irreversibilidad del tiempo precisamente) del autor de The Entropy Law and the Economic

Process—. Esta primera contribución europea de Georgescu-Roegen sobre el tiempo y la entropía a principios de la década de 1970 (Gal-Or, 1972) ha permanecido relativamente desconocida para los comentaristas del trabajo epistemológico y filosófico de Nicholas Georgescu-Roegen.

La tesis de la evolución tecnológica (y, por tanto, el proceso económico que la engloba institucionalmente o, dicho de otra forma, el proceso biotecnoeconómico de la especie humana, tan variada en el tiempo histórico y el espacio sociocultural de la antropología social) se inscribe claramente en el caso de Georgescu-Roegen en la doble herencia de Carnot y Darwin: la de la revolución epistémica y cosmológica de Sadi Carnot (en el origen del paradigma entrópico de la visión termodinámica del mundo físico) y la de la revolución darwiniana (en el origen de teoría evolucionista moderna de la biología y la ecología). Desafortunadamente, por complejas razones históricas y conceptuales, la filosofía científica del siglo XIX enfrentó a Darwin y Carnot (Grinevald, 1973, 1978 y 2000), pero eso fue antes de ¿Qué es la vida? de Schrödinger (la fuente común de inspiración de Georgescu-Roegen y Prigogine) y los desarrollos en la termodinámica de sistemas abiertos y las "estructuras disipativas" (Glansdorff y Prigogine, 1971; Schneider y Sagan, 2005). Esta situación de aparente conflicto epistemológico (Grinevald, 2000) indudablemente contribuyó mucho a los malentendidos que rodearon el fallido encuentro entre Georgescu-Roegen y Prigogine, muy especialmente en septiembre de 1978 en Austin, Texas (comunicación personal de Georgescu; véase Georgescu-Roegen, 1982). La pequeña historia del enfrentamiento entre estas dos grandes referencias de la filosofía de la entropía y el tiempo —que interesa a la gran historia de la ciencia contemporánea— está todavía lejos de ser aclarada en la literatura especializada.

A comienzos de los años setenta, Nicholas Georgescu-Roegen, catedrático de Economía en la Vanderbilt University de Nashville (Tennessee), se hallaba en el cénit de su brillante carrera académica y científica en el prestigioso y respetado mundo de los economistas-matemáticos, sobre todo en Estados Unidos. Pero este economista heterodoxo aparecía cada vez más como un hereje, situándose en contra de la corriente principal del pensamiento científico o más

bien tecnocientífico, cuyo optimismo prometeico era compartido y apoyado por la gran mayoría de economistas y científicos sociales. Pensador contra la corriente de las doctrinas occidentales dominantes, el famoso Georgescu-Roegen se convirtió en un genio problemático, "vehementemente sospechoso de herejía" en plena Guerra Fría y ello, de hecho, muy a pesar de sí mismo (dado que se había convertido sinceramente en ciudadano estadounidense desde 1954). Con la repentina "crisis ecológica" de finales de los años sesenta y setenta, especialmente en Estados Unidos, la figura de Georgescu-Roegen se convirtió en una especie de disidente de Occidente, más reconocido en el exterior, como se puede ver en algunos herederos intelectuales de Mahatma Gandhi en la India. Resulta significativo que haya sido Rajendra Pachauri quien estuviera en el origen de la idea del volumen más importante en homenaje a Nicholas Georgescu-Roegen (Mayumi y Gowdy, eds., 1999). Conocí a Pachauri una vez en una recepción del IPCC en Ginebra, ¡pero no tuvimos tiempo de hablar sobre Georgescu-Roegen!

A decir verdad, el apogeo de la carrera académica estadounidense de Georgescu (como lo llamaron sus colegas) llegó poco después de 1971, tras el "shock del petróleo" de octubre de 1973, que provocó un verdadero pánico en torno a la cuestión de la energía y los recursos naturales. El contexto de la recepción de Georgescu-Roegen cambió, al menos durante algunos años. En octubre de 1975, durante la grandiosa celebración del centenario de la Universidad de Vanderbilt (véase Vanderbilt Alumnus, invierno de 1976), el profesor Nicholas Georgescu-Roegen, con su visión "profética" (y "pesimista") del futuro de la humanidad y del planeta, era una auténtica rock star en la Universidad de Vanderbilt. De hecho, Nicholas Georgescu-Roegen fue homenajeado por sus colegas más eminentes como héroe de la ciencia y del "mundo libre" (no olvidemos el clima ideológico de la Guerra Fría), incluidos varios ganadores del prestigioso Premio Nobel de Economía (sir John Hicks, Simon Kuznets, Paul Samuelson, Jan Tinbergen) (véase el volumen de Ensayos en honor de Nicholas Georgescu-Roegen editado por Tang, Westfield y Worley, 1976). A mediados de la década de 1970, en medio de la crisis energética y del medioambiente en los Estados Unidos y en el mundo industrial occidental, el nombre de Nicholas Georgescu-Roegen, con sus tesis

sobre la entropía, circuló en Washington (Wade, 1975) como futuro candidato al Premio Nobel de Economía, galardón que por entonces nadie consideraba como una estafa intelectual o una "hábil mistificación" (Dostaler, 2008), al contrario que ahora, cuando se hace más hincapié en que no se trata en absoluto de un Premio Nobel como los demás, sino simplemente del "Premio en Ciencias Económicas en Memoria de Alfred Nobel", instituido en 1968 por el Banco Central de Suecia (Grinevald, 1980), y emitido por la Real Academia Sueca de Ciencias desde 1969. Creer que Nicholas Georgescu-Roegen es un ilustre desconocido o un economista rumano ignorado es desconocer por completo la historia de la economía en Estados Unidos en la segunda mitad del siglo XX.

Dicho esto, tenemos derecho a plantearnos ciertas preguntas. ¿Por qué el gran Georgescu-Roegen no recibió, como él mismo esperaba, el Premio Nobel de Economía como sus colegas y amigos de toda la vida, empezando por Paul Samuelson (galardonado en 1970) y Wassili Leontief (Nobel en 1973)? E incluso ¿por qué se concedió el Nobel de Economía en 1987 a Robert Solow y no a su principal adversario científico? (véase Daly, ed., 1997; ver también Carpintero, 2006a). ¿Qué ha sucedido durante los últimos cincuenta años en torno a eso que podríamos llamar el "esplendor y decadencia" de un eminente economista estadounidense de origen rumano?

Por supuesto, no desarrollaré mi propia opinión aquí, una opinión de hecho siempre in flux o in progress. La respuesta solo puede ser colectiva, como es de hecho la investigación científica contemporánea desde la llamada revolución científica de la Europa de los "tiempos modernos" de la que hablan los filósofos de la "ciencia moderna" (de Husserl a Koyré por nombrar solo dos nombres famosos). A pesar de las muchas aportaciones historiográficas y epistemológicas (incluidas, por supuesto, las realizadas por parte del propio Georgescu), todavía falta una gran biografía completa y detallada de esta "gran mente" del pensamiento científico y filosófico del siglo XX. Por mi parte, he trabajado modestamente desde hace casi medio siglo en lo que muy pronto llamé el "affaire Georgescu-Roegen" (Grinevald, 1977: 200; 1980; prefacio en Georgescu-Roegen, 1979 y 1995). A menudo lo había discutido en persona con mi amigo Nicholas, en Ginebra, en

París, en Estrasburgo, y especialmente durante mi estadía con él, en 1982, en su pequeño chalé en la larguísima calle Hemingway en las afueras elegantes de Nashville, típico lugar de la edad de oro del petróleo y el automóvil, tan acertadamente descrito por el crítico de las "afueras del sueño americano" James Howard Kunstler. Desde hace casi medio siglo, se han ido acumulando las piezas del "asunto Georgescu-Roegen", que nunca dudé en comparar con el "affaire Galileo" (de ninguna manera acabado si queremos creer en el fascinante libro Galileo eretico de mi amigo el italiano "carnotiano" Pietro Redondi).

En una dedicatoria manuscrita fechada el 26 de junio de 1976, en Ginebra, sobre la versión francesa de su libro La science économique, Nicholas Georgescu-Roegen escribió: "A Jacques Grinevald, mi amigo de ultramar pero que es mi vecino intelectual más cercano". Entonces me intrigó el silencio de los intelectuales sobre esta edición (parcial y relativamente mal traducida) publicada en la Colección del Centro de Econometría de la Facultad de Derecho y Economía de París, Asociación Cournot, con un prefacio del profesor Henri Guitton (Georgescu-Roegen, 1970). En el prefacio de Paul Samuelson —incluso más elogioso que el del economista francés Henri Guitton— el famoso economista estadounidense había escrito sobre la larga "Introducción" que constituye la primera parte de la Analytical Economics: "Desafío a cualquier economista bien informado a permanecer autosatisfecho después de reflexionar sobre este ensayo".

En este affaire Georgescu (que contiene varios episodios muy diferentes), todo es, en efecto, una cuestión de punto de vista. Fue mi amigo argentino Luis Prieto (1926-1996) quien me inició en la cuestión del punto de vista y su pertinencia, tal como lo enseña la lingüística general y la semiología. Como enseñó este eminente lingüista en su libro Pertinencia y práctica: "Todo conocimiento está involucrado en una práctica". Ningún intelectual, ningún científico, puede ignorarlo. La marcha del espíritu científico no dirige su mirada a los hechos, sino que contribuye a crearlos. Hoy en día, en el momento del debate sobre el Antropoceno, a menudo proclamamos que es necesario ir más allá de la "gran división" entre las ciencias naturales y las ciencias humanas, pero es más fácil decirlo que realmente salir de esa famosa sima entre las "dos

culturas” de la que habló Charles Percy Snow en su famosa conferencia de 1959. Si queremos evitar caer en la “barbarie del especialismo” (a la que se refería José Ortega y Gasset en La rebelión de las masas), creo que necesitamos ir más allá de las fronteras demasiado rígidas (e históricamente contingentes) que separan las disciplinas (y subdisciplinas) y superar la compartimentación del conocimiento, la especialización excesiva de la “división del trabajo” intelectual (por lo demás tan productiva), como ya el mismo Adam Smith había comprendido. Y eso que él vivía en “un mundo (preindustrial) que nosotros hemos perdido”.

A su manera, Georgescu-Rogen se había arriesgado en esta “aventura” de la crítica y del descubrimiento científico (sin conocer las reflexiones de Jean Piaget sobre la multidisciplinariedad, la interdisciplinariedad y la transdisciplinariedad). Para cerrar estas reflexiones (que quizá más adelante podré desarrollar más, si mi salud lo permite), propongo releer este pasaje —tan conmovedor como el famoso “mensaje sideral” de Galileo en 1610— de Georgescu en el prefacio, fechado en 1964, de su primer libro de gran libro revolucionario: “To remedy in part the absence of any connecting bridge between theoretical physics and economics in modern philosophical literature, I had to venture into a large territory beyond the boundary of economics, a territory for which I possess no adequate knowledge. Nevertheless, I felt that the risk was worth taking. The adventure probably marks a beginning, and a beginning ought to be made by somebody” (Georgescu-Roegen, 1966: xii)[5].

La obra completa de Georgescu-Roegen es inmensa, antes y después de 1971. Ha sido, por excelencia, un trabajo cada vez más transdisciplinario, que traspasa los límites académicos convencionales. Por mi parte, poco antes de conocer a Georgescu-Roegen en junio de 1974, el profesor Jean Piaget, el venerable padre de la epistemología genética, me había explicado en persona, en su casa, a finales de 1972, mientras trabajaba en el Servicio de prensa e información de la Universidad de Ginebra, mi alma mater, su clasificación circular de las ciencias y de las relaciones interdisciplinares. Sin duda esto me preparó para mi inesperado encuentro con el profesor Georgescu-Roegen. “El azar solo favorece a los espíritus preparados”, le gustaba decir al célebre Louis Pasteur

y lo repetían dos grandes matemáticos y filósofos del saber científico: Henri Poincaré y Émile Borel, referencias importantes para comprender la formación epistemológica del joven Georgescu, que asistió en París, a finales de la década de 1920, al nuevo Instituto Henri Poincaré fundado por Émile Borel (con el apoyo en concreto de la Fundación Rockefeller). La matematización de los problemas biológicos, demográficos, sociológicos y económicos estaba entonces en su inicio y encontró mucha resistencia. Pero la interdisciplinariedad que posteriormente desarrollaría Georgescu tuvo su origen en su formación epistemológica desde finales de la década de 1920 en París y principios de la de 1930 en Londres, con el venerable Karl Pearson, de quien Georgescu era un estudiante crítico pero entusiasmado por su obra La gramática de la ciencia, más machiana que el propio Mach. En la escuela de Pearson, Georgescu pasó de la pura estadística matemática a las aplicaciones biométricas, a la teoría de la evolución biológica y a las cuestiones económicas y sociales.

La transdisciplinariedad del itinerario de Georgescu ya estaba allí, en estado embrionario, en sus lecturas enciclopédicas y en su pasión por las cuestiones epistemológicas y de filosofía de la ciencia. Mucho menos avanzadas y prestigiosas que las ciencias físico-matemáticas, las ciencias económicas y sociales aún no tenían la independencia y el desarrollo autónomo que adquirirán después de la Segunda Guerra Mundial en el contexto ideológico de la Guerra Fría. Georgescu-Roegen siguió la actualidad epistemológica en la que resultaba central y muy controvertida la cuestión de la entropía, es decir, del segundo principio de la termodinámica (el famoso “principio de Carnot”) y de la evolución de la vida. Este problema surgió con el auge de la termodinámica y la cuestión energética en fisiología y luego en ecología. De hecho, el paradigma termodinámico, con sus nociones de energía y entropía, invadió y transformó todas las ciencias naturales. Las implicaciones cosmológicas e incluso teológicas fueron muy debatidas desde la segunda mitad del siglo XIX. Debemos interpretar el descubrimiento por Georgescu-Roegen de los “aspectos bioeconómicos de la entropía” (Georgescu-Roegen, 1975b) en este amplio contexto científico y cultural. Ese fue el tema de mi primer artículo (Grinevald, 1973) y de mi tesis de maestría en Filosofía[6], un año antes de mi encuentro con el autor de The Entropy Law and the

Economic Process[7].

Muchos especialistas en economía no entendieron el desarrollo intelectual de Georgescu-Roegen simplemente porque no conocían las experiencias de sus dos fuentes principales de inspiración, a saber, la Rumanía agraria del periodo de entreguerras y la historia del "principio de Carnot" (tan bien explicado en el excelente y popular libro La dégradation de l'énergie, publicado en 1908 por el físico francés Bernard Brunhes, pero nunca traducido al inglés). Este libro de Brunhes, leído muy en profundidad pero nunca citado por Georgescu (vi un ejemplar en su casa en Nashville), es una fuente esencial para comprender los vínculos epistemológicos y ontológicos entre la termodinámica y la economía, como el librito What is Life? del físico Erwin Schrödinger (1944) lo fue para el desarrollo de los vínculos entre termodinámica, evolución y biología. Lejos de estar aislado, el pensamiento de Georgescu-Roegen pertenece a la evolución de la "fertilización cruzada" de las ciencias desde la doble revolución de Carnot y Darwin.

La estructura y, por tanto, también la génesis de "la revolución bioeconómica de Nicholas Georgescu-Roegen" (Grinevald, 1980, 1992) tiene sus raíces (según sus propias "notas autobiográficas" y nuestras conversaciones íntimas) en sus propias experiencias, a menudo dramáticas, que pertenecen a su propia "geografía sagrada" (para usar la expresión de su compatriota Mircea Eliade). Hablamos del antiguo Reino de Rumanía así como de la terrible ocupación del Ejército Rojo a partir de septiembre de 1944, y tras ello la llegada del régimen comunista a partir del golpe del 6 de marzo de 1945 con el apoyo de la URSS, y finalmente la disolución de la monarquía y la abdicación del rey Miguel I el último día del año 1947. Georgescu estuvo entonces muy involucrado en los asuntos diplomáticos de su país y los comunistas le reprocharon sus conocidos vínculos con el mundo occidental en general y los estadounidenses en particular. Georgescu y su esposa Otilia (su compañera matemática con la que se casó en 1934) nunca han olvidado aquella terrible noche de febrero de 1948 en la que huyeron clandestinamente, arriesgando la vida, escondidos en un barco turco con destino a Estambul, convirtiéndose en emigrados para el resto de sus vidas. En Estambul las Fuerzas Armadas estadounidenses se hicieron cargo de la pareja Georgescu-Roegen,

que, vía Italia y Francia, cruzó el Atlántico (como muchos otros refugiados) y aterrizó en Estados Unidos en junio de 1948, acogido por el amigo americano de origen ruso Wassili Leontief (que había abandonado Leningrado, antes San Petersburgo, debido a su oposición al régimen comunista, y que en la década de 1930 se había convertido en profesor en Harvard, donde se hizo amigo de Georgescu).

Que yo sepa, no existe un estudio histórico sobre la evolución de las relaciones entre Georgescu y Leontief. Y es una lástima. Para apreciar la originalidad de la evolución del pensamiento de Georgescu-Roegen, creo que estas relaciones son tan importantes como las relaciones, más conocidas, de Georgescu con Schumpeter y Samuelson.

Es necesario releer hoy en día todos los artículos de la crítica que acogieron, de manera más o menos miope, la publicación en Harvard University Press de The Entropy Laws and the Economic Process, y en particular la reseña a la vez elogiosa y un tanto envidiosa publicada bajo el título “Search for time’s arrow” en la prestigiosa revista Science de la American Association for the Advancement of Science (AAAS) (10 de marzo de 1972: 1099), firmada por el eminente Kenneth E. Boulding (quien fuera elegido en 1978 presidente de la AAAS a partir de 1980; Science, 21 de abril de 1978: 289-290). En definitiva, lo que quiero subrayar aquí es que no se puede apreciar el affaire Georgescu-Roegen permaneciendo encerrados en las ciencias sociales o, incluso peor, solo en la llamada ciencia económica. Estamos obligados a adoptar un enfoque mucho más amplio, más general. La historia de la ciencia, que es la ciencia misma, como decía el gran Goethe, implica una perspectiva histórica y cultural de longue durée como recuerda Jürgen Renn, director del Instituto Max Planck de Historia de la Ciencia de Berlín, en The Evolution of Knowledge. Rethinking Science for the Anthropocene (2020). Un bello libro de epistemología histórica y de historia de la ciencia que solo tiene un pequeño defecto: ignorar la revolución bioeconómica de Nicholas Georgescu-Roegen y la extraordinaria fortuna de Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance, de Sadi Carnot.

Las contribuciones de Nicholas Georgescu-Roegen

al pensamiento económico del siglo XX*

Óscar Carpintero

...las cosas interesantes siempre están en la frontera.

(Ramón Margalef, 1997)

No es una sorpresa que Georgescu-Roegen sea virtualmente ignorado por la economía convencional. Por definición, los que se adhieren a un paradigma creen que todos los fenómenos relevantes se comprenden perfectamente a través de las lentes conceptuales de ese paradigma, y que todos los problemas pueden resolverse con las herramientas analíticas utilizadas en ese paradigma. Cuanto más ruidosos y certeros son los ataques, con mayor fuerza son ignorados o explicados al margen del paradigma existente. Por eso, una medida de la hazaña de Georgescu-Roegen es el grado en el que es ignorado por la economía convencional mientras triunfa en otras áreas.

(Cutler Cleveland y Mathias Ruth, 1997)

Por su vasta erudición y su talante transdisciplinar, Nicholas Georgescu-Roegen fue un economista excepcional en el panorama de la ciencia económica del pasado siglo, y ha sido uno de los padres de lo que, en la actualidad, se conoce como economía ecológica (y que él prefería denominar bioeconomía). Esa excepcionalidad tiene que ver también tanto con su trayectoria vital como con su quehacer intelectual, pues ambas cosas, en su caso, estuvieron siempre muy entrelazadas. Nació en Rumania en 1906 y murió en Estados Unidos en 1994, y esa longevidad le convirtió en

testigo privilegiado de los principales acontecimientos del siglo pasado, algunos de los cuales presenció en primera fila. Matemático convertido en estadístico y, finalmente, en economista, la mitad inicial de su vida, salvo una estancia temporal en París, Londres y Estados Unidos, la pasó en su tierra natal, donde presenció y sufrió cuatro dictaduras consecutivas. La segunda parte, desde 1948, se desarrolló de manera más tranquila en Estados Unidos, donde pudo dedicar el tiempo y el trabajo necesarios para poner en pie su enfoque bioeconómico.

Aunque su periplo vital ofrece muchas pistas sobre lo que serían sus preocupaciones intelectuales[8], lo que sigue se centrará en reseñar el papel de sus principales contribuciones al pensamiento económico en sentido amplio. No es sencillo, sin embargo, resumir en unas pocas páginas las ricas aportaciones de uno de los economistas más singulares del siglo XX. Y no lo es porque, como veremos, en ellas se entrecruzan contribuciones que a menudo trascienden los límites de la ciencia económica y tienden fértiles puentes con otras disciplinas científicas[9].

¿Continuidad, ruptura o ambas cosas?

Tradicionalmente, aquellos que se han acercado a los textos de Georgescu-Roegen suelen distinguir claramente dos etapas. De un lado, estaría lo que Herman E. Daly (1995) ha calificado como su etapa de “ciencia normal” —que coincidiría con el inicio de su carrera (1934-1936) y enlazaría con el final de los años cuarenta, la década de los cincuenta y comienzos de los sesenta tras su regreso a Estados Unidos desde Rumanía— donde la labor investigadora discurrió por los cauces que marcaba la ortodoxia, esto es: el afianzamiento matemático de la economía en campos como la teoría de la utilidad y del consumo, el análisis input-output o la econometría (de hecho, Georgescu-Roegen fue, por ejemplo, Associate Editor de la prestigiosa revista de economía matemática Econometrica entre 1951 y 1968). La mayoría de los textos de esta época se encuentran recogidos en su libro Analytical Economics

(Georgescu-Roegen, 1966). Es cierto que esos escritos contribuyeron a cubrir algunas lagunas de la teoría económica convencional y no dejaron de recibir el beneplácito de sus compañeros más ortodoxos. Pero las circunstancias y las reacciones cambiaron con posterioridad. Y entre las razones que contribuyeron a ese cambio de postura estarían sus críticas al exceso formalista de la teoría, pero también lo que Daly, y otros autores con él, han denominado su etapa de ciencia revolucionaria. Un periodo que comienza ya con la larga introducción a Analytical Economics —fechada en 1964—, continúa con el clásico La ley de la entropía y el proceso económico en 1971, y no finaliza hasta su fallecimiento en 1994. En estos años, Georgescu-Roegen pone los cimientos de su bioeconomía tendiendo puentes con la termodinámica y la biología.

Conviene hacer, en cualquier caso, una matización a esta división tan tajante en su trayectoria científica. Es cierto que existen elementos de ruptura entre ambos periodos, pero no lo es menos que, si uno lee detenidamente los primeros textos y los compara con los de la última etapa, también percibe rasgos y preocupaciones permanentes que dan continuidad a la reflexión. En los artículos de los años treinta y cincuenta (Georgescu-Roegen, 1935a, 1935b, 1936, 1950, 1951, 1954 y 1958) hay más cosas que el apuntalamiento de la teoría convencional: hay notables críticas a los planteamientos ortodoxos que ponen de relieve importantes paradojas aunque, eso sí, en un impecable lenguaje matemático; y también se pueden rastrear con facilidad los gérmenes de muchas preocupaciones del Georgescu-Roegen maduro. Por tanto, tal vez sea necesario matizar la idea generalizada que distingue claramente entre el primer momento de colaboración con el enfoque ortodoxo y la fase posterior de ruptura desde finales de los sesenta hasta su muerte. La matización ha sido sugerida y bien argumentada por John Gowdy y merece la pena tenerse en cuenta (Gowdy, 1993; Gowdy y Mesner, 1998).

No es fácil, de todos modos, encontrar una fórmula que dé testimonio de esa peculiar mezcla de motivaciones que, en el caso de Georgescu-Roegen, dan continuidad y rompen el desarrollo de su pensamiento. La solución me la proporcionó hace tiempo la lectura de la excelente introducción que Jacques Grinevald elaboró para la edición española de La ley de la entropía y el proceso económico, y

se podría resumir así: Georgescu-Roegen se comporta como un economista heterodoxo, dentro de la corriente principal, cuando tensa la cuerda del paradigma convencional (Grinevald, 1996); y se convierte en un verdadero disidente cuando decide traspasar las fronteras académicas acercándose a otras disciplinas como la termodinámica o la biología. Este tránsito de la heterodoxia a la disidencia es, a mi juicio, la fórmula que mejor sintetiza la polémica sobre "los dos periodos" de Georgescu-Roegen.

Contribuciones heterodoxas dentro de la corriente económica principal

Efectivamente, cuando uno repasa los textos escritos por Georgescu-Roegen de los años treinta y, posteriormente, durante la década de los cincuenta y comienzos de los sesenta, se da cuenta de esta tensión entre la "continuidad" y la "ruptura" sobre todo en dos ámbitos: la teoría del consumo y la reflexión sobre la economía agraria y las economías campesinas.

En el primer caso, en los años en que se realizaron aquellas aportaciones, las discusiones se centraban en el proceso de axiomatización de las teorías del consumo y de la producción microeconómicas, y Georgescu se sentía cómodo remendando flecos lógicos y lagunas relacionadas con las formalizaciones del proceso de elección del consumidor y la utilidad, o de las funciones de producción neoclásicas (Georgescu-Roegen, 1935a, 1935b y 1936). Su curiosidad intelectual, y los reparos ante razonamientos económicos que no eran consistentes desde el punto de vista matemático, le llevaron a realizar una aportación original que daba coherencia a la teoría de la elección del consumidor neoclásica. Efectivamente, hasta que Georgescu-Roegen propuso en su célebre artículo de 1936 ("The pure theory of consumer behavior") su famoso postulado sobre la indiferencia (postulado A), la economía convencional suponía implícitamente que entre una situación de preferencia y otra de no preferencia por dos cestas de bienes, el consumidor debía necesariamente pasar por una situación

intermedia de indiferencia. Y era necesario hacerlo explícito para garantizar la continuidad de las preferencias y construir la teoría de la elección neoclásica. Irónicamente, Georgescu-Roegen contribuyó así a dotar de solidez lógica a la teoría neoclásica, pero no dejó de dar vueltas al asunto, destacando su carácter excepcional y las situaciones en que precisamente no se cumplía este postulado (como en el caso de las preferencias lexicográficas, donde las preferencias se ordenan —como las palabras en un diccionario— según el criterio de satisfacción más perentoria).

Pero si el estudio del comportamiento del consumidor fue la llave que abrió a Georgescu-Roegen la ciudadela neoclásica y ortodoxa, esta misma preocupación será también la que, irónicamente, le permita iniciar su crítica al dogma mecanicista de la economía convencional. Tras la experiencia rumana de entreguerras y su llegada a Estados Unidos en 1948, su preocupación epistemológica constante le hizo volver sobre sus viejos trabajos con un talante más escéptico. La ortodoxia se apoyaba sobre hipótesis y axiomas que, aparte de mostrar una notable falta de realismo, se daban de bruces, por ejemplo, a la hora de explicar el comportamiento efectivo de los consumidores. El homo oeconomicus descrito en esta teoría era visto como un consumidor insaciable, cuyo bienestar solamente dependía del consumo de bienes, que prefería siempre más que menos, que elegía con perfecta información sobre las cantidades y calidades de las mercancías, sin riesgos ni incertidumbres, soberano a la hora de ordenar perfectamente unas preferencias que no variaban a lo largo del tiempo, y que eran completamente descritas por su función de utilidad (cuyas propiedades matemáticas de continuidad y derivabilidad la hacían fácilmente manejable para el cálculo). Cada individuo, en función de sus preferencias y a fin de mantener intacto su nivel de utilidad, era capaz de intercambiar diferentes cantidades de bienes con independencia de las necesidades que esos bienes pudieran satisfacer. Esta simplificación convertía la utilidad en “denominador común” o expresión única de todas las necesidades y deseos de las personas. Con todos estos datos, el consumidor neoclásico se limita a elegir mecánicamente entre diferentes combinaciones de bienes la que maximizara su función de utilidad sujeta a la restricción presupuestaria.

Georgescu emprende la tarea de corregir e impugnar varios de estos

supuestos, construyendo a la vez una representación más realista del proceso de elección del consumidor. Para ello, tira precisamente de dos hilos apuntados ya en trabajos anteriores. En primer lugar, disiente de la teoría del valor monocausal y, por lo tanto, de la tesis de la utilidad como "sustancia común" de los bienes que permite satisfacer todo tipo de necesidades. Entre otras cosas porque esto implicaría que una persona enfrentada a una combinación de pan y zapatos podría reducir su consumo de pan y satisfacer a la vez su necesidad alimenticia aumentando sus compras de zapatos, de manera que permaneciera intacto su nivel de utilidad. Sin embargo, los hechos muestran que, en la mayoría de los casos importantes, no funciona el principio de sustitución neoclásico entre bienes, sino más bien lo que el economista rumano calificaba como principio de irreductibilidad de las necesidades: "El pan no puede salvar a nadie de morir de sed; vivir en un lujoso palacio no constituye un sustituto de la comida [...] no todas las necesidades pueden reducirse a un denominador común [...] el principio de irreductibilidad de las necesidades parece haber escapado a la atención de los economistas neoclásicos" (Georgescu-Roegen 1954: 196).

Por otro lado, la teoría neoclásica de entonces, con sus rasgos mecanicistas, garantizaba el determinismo, esto es, que las mismas causas producen siempre los mismos efectos, y que no existe incertidumbre ni riesgo porque los consumidores conocían perfectamente las características de los bienes y son capaces de ordenar sus preferencias sin inconsistencias. Pero si hay errores de percepción, o cambian las preferencias del individuo, entonces las elecciones entre dos bienes, o dos cestas de bienes, se realizará estocásticamente (aleatoriamente) en términos de probabilidad (y, por tanto, las mismas causas no siempre producen los mismos efectos). Georgescu-Roegen demostró, ya en 1936, que cuando hay errores de percepción, la elección final o el punto de equilibrio del consumidor entre dos cestas de bienes no se puede determinar a priori, es decir, de manera mecánica resolviendo el problema de optimización condicionada neoclásico (maximización de la función de utilidad sujeta a la restricción presupuestaria), sino que la solución final dependerá de una distribución multivariante de precios y cantidades (Georgescu-Roegen, 1936 y 1958). Pero, y eso es lo importante, en el caso aleatorio no se garantiza en absoluto

que la solución óptima determinista sea la que tenga más probabilidad de elegirse.

Georgescu-Roegen construyó también un modelo de elección aleatorio para el otro caso, esto es, la variabilidad de las preferencias en el tiempo. Estaba convencido de que las experiencias pasadas de consumo afectan al mapa de preferencias de los individuos, por lo que sugirió la inclusión del llamado postulado hereditario. Ya en 1950 establece que no se puede "poner un límite a una característica tan esencial y evidente de la naturaleza humana, es decir, ser susceptible de cambio a consecuencia de la educación, los viajes, las experiencias personales, etc.". A lo que añadía que, de no incluir esta circunstancia en la teoría de la demanda, no estaríamos solo ante una "teoría estática", sino ante una "teoría petrificada" (Georgescu-Roegen, 1950: 174). Es decir, que la historia de los individuos cuenta. Junto a este resultado, Georgescu-Roegen sumó otros elementos que resaltaban uno de los rasgos definidores de lo que más tarde será el enfoque bioeconómico: la necesidad de entender el proceso económico como un proceso histórico, evolutivo, que implica cambios irreversibles.

Además de estas contribuciones, la llegada de nuevo a Estados Unidos en 1948 vio renacer unas dudas vinculadas al choque entre lo preconizado por la teoría neoclásica y la realidad de la economía agraria rumana que se encontró en su época de "exilio interior" entre 1936 y 1948. Hay evidencias claras de que esa "crisis de fe" está en el origen de una preocupación por las economías campesinas cuyos hitos más destacados serán dos artículos escritos en la década de los sesenta (Georgescu-Roegen, 1960 y 1965a). En ellos hay contribuciones de mucho interés.

En su texto de 1960 "Economic theory and agrarian economics", discute las dificultades para definir técnicamente la sobrepoblación y aporta una definición analítica de cierto interés: considera sobrepoblada a aquella economía en la que la productividad marginal del trabajo no cualificado es cero. Esto es: añadir un trabajador adicional al proceso productivo no incrementa el producto. Esto implica que, en una economía sobrepoblada, la regla de la maximización del beneficio no conduce a un PIB (producto

interior bruto) máximo. Por el contrario, el afán de lucro en una economía campesina sobrepoblada sería contraproducente, pues:

En países estrictamente sobrepoblados la gente no tiene alternativa: en esos países el ocio es impuesto por condiciones geográfico-históricas, y no es el resultado de escoger una alternativa entre más ocio y más ingreso real, como es el caso de las economías avanzadas. En una economía estrictamente sobrepoblada, el ocio no es propiamente hablando un bien económico, porque no tiene otro uso que como ocio. Su valor, entonces, no puede ser otro que cero... [Por eso] regular la producción a través de la maximización del beneficio es probablemente lo peor que puede sucederle a una economía sobrepoblada porque aumentaría el ocio no deseado a la par que disminuye el producto nacional (Georgescu-Roegen, 1960. Cursiva mía).

En esa economía la regla de distribución basada en la productividad marginal del trabajo tampoco funciona, puesto que, dada la definición de sobrepoblación, algunos trabajadores siempre recibirán más de lo que aportan a la producción. Y no precisamente porque hayan optado por tener más ocio en vez de trabajar (o viceversa), como pudiera pensarse viendo la cosa desde los países ricos. Pero, aunque la regla de la productividad marginal del trabajo no funcione como criterio de distribución en una economía campesina, eso no significa ausencia de un reparto "racional" de los recursos. De hecho, en un artículo posterior, de 1965 ("The institutional Aspects of Peasant Communitites: Ana Analytical View"), Georgescu-Roegen sugiere que las comunidades campesinas estarían gobernadas por dos principios muy simples (Georgescu-Roegen, 1965a): 1) Solo el trabajo crea valor y, por tanto, este debe constituir el criterio primordial en la distribución de la renta de la comunidad; y 2) Existe igualdad de oportunidades para que todos trabajen, pero no igualdad de ingresos para todos. Es decir, los miembros de la aldea campesina deben tener las mismas oportunidades para obtener su sustento, pero los frutos finales obtenidos dependerán del esfuerzo e ingenio que hayan aplicado a su trabajo. Por tanto, quien cultiva una tierra tiene derecho a

apropiarse de sus frutos en forma de grano, pero esto no implica que sea propietario de esa tierra: solo tiene derecho a trabajarla.

Según Georgescu, los dos principios expuestos aquilatan las bases de dos instituciones campesinas importantes. Por un lado, el aprovechamiento comunal de recursos como los pastos, los bosques y los ríos considerados frutos que la naturaleza proporciona espontáneamente y que, por eso mismo, no son consecuencia del trabajo humano. Al no ser así, nadie puede apropiarse individualmente ni de ellos ni de los frutos que proveen. Y, en segundo lugar, solo lo que se posee como fruto del trabajo es una propiedad inviolable. La tierra es para ser utilizada no para ser poseída a través de la exclusión de uso por otros. El principio igualitario que rige en las comunidades campesinas se intenta mantener incluso cuando la población crece, a través de una peculiar regla de distribución de la tierra de labor: se rotura más bosque y se reparte una fracción de la tierra roturada para cada hogar que viva en la aldea. Y la operación se repite así para cada nueva roturación, lo que garantiza el mismo trato y evita la desigualdad cuando las tierras que se roturan en diferentes años son de distinta calidad (Georgescu-Roegen, 1965a: 215). Esto proporciona una interesante "lección objetiva": las comunidades campesinas han gestionado la cuestión de la igualdad y la distribución de una manera diferente al capitalismo urbano y han dado a este asunto una solución distinta y, en términos generales, más satisfactoria.

Estas aportaciones reflejan el interés de Georgescu-Roegen por contrastar las dinámicas que imperan en las economías campesinas frente a las economías industriales y urbanas. Y fue el intento por comprender cabalmente las diferencias en los procesos de producción en la agricultura y en la industria (Georgescu-Roegen, 1965b) lo que abrió el camino a dos elementos clave del pensamiento disidente del rumano: a) la crítica sistemática a la noción de función de producción manejada usualmente por los economistas convencionales y, como consecuencia de ello, b) la primera mención de la importancia de la termodinámica y de la ley de la entropía en la explicación de los procesos productivos[10].

Contribuciones disidentes:

la bioeconomía como empeño transdisciplinar

Los años desde mediados de la década de los cincuenta resultaron ser un período clave en la obra de Georgescu-Roegen. Fueron años en los que intentó luchar contra una doble insatisfacción intelectual que venía sufriendo desde hacía tiempo. De un lado, el panorama que ofrecía la filosofía de la ciencia moderna en torno al célebre libro de Thomas Kuhn no suponía un estímulo adecuado para el tipo de reflexiones que le interesaban. Por otra parte, Georgescu, que era un excelente matemático, cada vez se encontraba más incómodo con la innecesaria y vacía deriva formalista de una teoría económica con escasa sustancia, que profundizaba en la senda mecanicista ya iniciada décadas antes, y que, por el contrario, necesitaba urgentemente un cambio de rumbo. El diagnóstico apuntaba a un problema de falta de conexión entre disciplinas científicas sociales y naturales, así como a una mala relación entre algunas que ya habían establecido un contacto, aunque fuera superficial.

La ley de la entropía y el proceso económico, publicada en 1971 (y del que se acaba de celebrar el quincuagésimo aniversario), va a surgir como la respuesta detallada de Georgescu-Roegen a las dos insatisfacciones mencionadas. La larga introducción a Analytical Economics (1966) era, de hecho, una versión comprimida de la anterior. O, mejor dicho, La ley de la entropía es la versión muy ampliada del texto de 1964. Como es usual cuando se trata de un clásico transdisciplinar tantas veces citado como pocas ocasiones leído con detenimiento, La ley de la entropía es mucho más que uno de los libros fundacionales de la economía ecológica en el siglo XX.

Si hubiera que resumir su contenido en unos pocos rasgos, se podrían aventurar cuatro aspectos. En primer lugar, incorpora una detallada crítica de la epistemología mecanicista y sus limitaciones, destacando a la vez la paradoja de que la economía adoptase este enfoque cuando precisamente había entrado en crisis en la propia física durante el primer tercio de siglo XX. Por otro lado, el libro

incluye una extensa discusión sobre el concepto de entropía y su difícil entronque con la epistemología mecanicista, habida cuenta de su asociación a nociones como cambio, cualidad y aleatoriedad. En tercer lugar, apoyándose en la ley de la entropía, este texto supuso una reivindicación del concepto de evolución (y todo lo que ello supone) frente a la mecanicista locomoción como pieza clave en la reflexión científica sobre el mundo. Pero el clásico de Georgescu-Roegen quedaría en una reflexión erudita —sin duda de mucho valor— si no fuera porque el economista rumano concluye su texto, en cuarto lugar, aplicando al campo de lo económico las consecuencias de este viraje filosófico. Y es con esta aplicación con la que obtiene una representación analítica alternativa del proceso de producción, que supera la analogía mecánica de la economía convencional, e incorpora las enseñanzas de las leyes de la termodinámica, en concreto, del segundo principio.

Así pues, si hay que hacer honor al grueso de su contenido, habrá que decir que La ley de la entropía constituye uno de los textos más notables de filosofía de la ciencia en la segunda mitad del siglo XX. Cosa que se percibe simplemente echando una ojeada al índice y comprobando que más de la mitad de sus páginas y ocho de los once capítulos de que consta incorporan reflexiones científicas y filosóficas que superan con mucho el estricto recinto de la ciencia económica. Y no podía ser de otro modo cuando las preocupaciones epistemológicas ya mencionadas estaban en la raíz del pensamiento de Georgescu-Roegen. Es, por tanto, un libro de gran erudición, cuya lectura requiere calma y concentración, y que impresiona por el vasto abanico de temas que atiende: desde la filosofía, a la física y la biología, pasando por las matemáticas, la estadística, la economía o la historia de la ciencia. Superar las barreras para llegar a obtener esas “representaciones analíticas válidas de los hechos” implicaba, desde el punto de vista de la economía, “investigar más allá de la propia disciplina”.

Georgescu-Roegen se encontraba, pues, cada vez más incómodo con las representaciones mecanicistas (por analogía con la física clásica) del comportamiento económico de los individuos postulado por la economía convencional. Lo novedoso es que la crítica de Georgescu-Roegen trasciende la dimensión del consumo y se amplía también a la descripción del proceso económico de producción de bienes y

servicios. Un proceso que, al tener una naturaleza físico-química, parecía haber quedado al resguardo de toda crítica. De hecho, si uno toma ahora cualquier manual estándar de teoría económica verá que allí, cuando se describe el proceso de producción a través de la función de producción, los factores productivos (trabajo y capital) se transforman sin pérdida o fricción en mercancías listas para venderse. Se alimenta así un movimiento mecánico circular, reversible y autosuficiente, donde todo lo producido es consumido y viceversa, pero que oculta deliberadamente la contribución de los recursos naturales a la producción, así como la aparición de los residuos y la contaminación que necesariamente se generan en todo proceso de producción o consumo. Ahora bien, si el proceso de producción implica el uso de energía y materiales, habrá que tener en cuenta las leyes que gobiernan la utilización de esos recursos y conocer los resultados de las ciencias que se dedican a su estudio, en especial la termodinámica (con su ley de la entropía), y también la biología.

Efectivamente, conviene recordar que el primer principio de la termodinámica establece que la energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma. Es decir: la cantidad total de energía permanece siempre inalterable y constante, pudiendo transformarse de un estado a otro (por ejemplo, la energía calorífica que libera la combustión de fuel puede transformarse en electricidad y en calor ambiental), pero sin crearse o destruirse en ese proceso. El segundo principio, o ley de la entropía, no niega lo anterior pero añade algo importante: que en esa transformación, la energía pierde calidad y se degrada, disminuyendo sus posibilidades para el aprovechamiento humano. La combinación de ambos principios nos lleva postular que en los procesos de producción no solo se producen bienes, sino que también, e inevitablemente, se generan residuos y contaminación. Así, toda producción económica es una producción conjunta de bienes y “males” (residuos), que habrá que tener en cuenta para valorar las bondades de ese proceso. Pero, además, si una parte de la energía se convierte en calor a más baja temperatura, es decir, calor no utilizable o en residuo, las transformaciones energéticas nunca podrán ser eficientes al cien por cien.

Georgescu-Roegen hizo algo más que resaltar este aspecto

energético. Sabiendo, como sabía, que la Tierra es un sistema abierto en energía pero cerrado en materiales, llamó la atención sobre el hecho de que, en el futuro, la escasez fundamental no vendría tanto por lado de la energía (habida cuenta la existencia de la radiación solar), sino por la vertiente de los materiales que también se degradaban por efecto de la ley de la entropía ("matter matters, too", solía decir). Y como la actividad económica es un potente instrumento de disipación material, esto le llevó a proponer su polémica "cuarta ley de la termodinámica" (Georgescu-Roegen, 1979a), para dar cuenta de este aspecto, en su opinión, usualmente descuidado tanto por los economistas como por los termodinámicos.

Georgescu-Roegen conectó, pues, economía y termodinámica dando realismo a la representación del proceso económico e incorporando la distinción cualitativa entre los recursos naturales (con baja entropía), antes de que sean valorados monetariamente, y los residuos (alta entropía) una vez que han perdido su valor. Como el proceso de producción de bienes y servicios transforma recursos de baja entropía en bienes más residuos de alta entropía, esto supone un aumento de la energía y materia no aprovechable, o no disponible, y por tanto de la escasez. Lo que explica que la ley de la entropía se encuentre en la raíz de la propia escasez económica. Y como una de las fuentes que proporciona valor económico a los bienes es su escasez, entonces, en teoría, cuanto mayor escasez mayor valor de cambio.

Al establecer una conexión, más o menos directa, entre el concepto de valor económico y el de escasez objetiva (posee valor económico aquello que es escaso), Georgescu-Roegen postula que la baja entropía constituye una condición necesaria para que una cosa tenga valor, aunque esta condición no sea suficiente. Para entenderlo mejor: la relación entre el valor económico y la baja entropía sería similar a la establecida entre el precio y el valor. Aunque todo aquello que tiene asignado un precio es porque, de hecho, posee valor; existen, no obstante, muchos bienes que poseen alto valor aunque no tengan establecido ningún precio. Se da así un primer paso para vincular analíticamente la reflexión termodinámica con la económica, pues como resaltó el economista rumano en su obra de 1971, "el hecho significativo para el economista consiste en que la nueva ciencia de la termodinámica

comenzó como física del valor económico y, en esencia, puede seguir contemplándose en ese sentido" (Georgescu-Roegen, 1971).

Con estos mimbres, Georgescu-Roegen propuso también una representación alternativa del proceso de producción a través de su modelo de flujos-fondo (Georgescu-Roegen, 1971). Su propuesta divide los factores productivos en dos categorías: elementos fondo (que representan los agentes del proceso y que lo abandonan con su eficiencia intacta) y los elementos flujo (que son utilizados por los agentes en el proceso productivo). A este respecto se consideran como elementos fondo la tierra [L(t)] en el sentido ricardiano de fertilidad "inalterada", el equipo capital [K(t)] que no se "consume" en el proceso y cuya eficiencia permanece constante en términos físicos gracias al mantenimiento, y la fuerza de trabajo [H(t)] que también se recompone gracias al alimento y no desaparece con la producción de bienes. Dentro de los elementos flujo, distingue Georgescu entre aquellos inputs de recursos naturales [R(t)] (energía solar, lluvia, aire, recursos minerales en los yacimientos, etc.) que son utilizados por los elementos fondo, los flujos de materiales corrientes procedentes de otros procesos productivos [I(t)], y los flujos necesarios para el mantenimiento del equipo de capital, M(t). Por último, en el otro extremo del proceso, nos encontramos con los flujos de salida de producto [Q(t)], y de residuos [W(t)], es decir, como se mencionaba anteriormente, el resultado del proceso siempre es una producción conjunta (bienes y residuos). Dado que todo proceso debe tener bien definidos su límite analítico y su duración temporal, la imagen fisiológica del proceso de producción incluirá, para cada componente (factor o producto), una función dependiente del tiempo que muestra las cantidades que han cruzado la frontera temporal [0, T] que define el propio proceso desde el principio hasta el final. Consiguientemente, la expresión matemática que lo describe deja de ser la función-punto neoclásica (que muestra una relación entre variables sin tener generalmente en cuenta el tiempo), y pasa a convertirse en un funcional, es decir, una relación entre funciones. Frente a la mayoría de los economistas convencionales que optan por la utilización de la analogía mecánica, Georgescu-Roegen recupera así una antigua tradición y esboza un enfoque analítico-fisiológico donde "se describen las interrelaciones existentes entre los diversos componentes del proceso bajo consideración, y la

atención prestada al cambio cualitativo inherente a todo proceso real" (Georgescu-Roegen, 1974: 236). Interrelación y cambio cualitativo serán, pues, los elementos fundamentales de esta nueva visión del proceso económico.

Ahora bien, el economista rumano no solo conectó economía y termodinámica. También contribuyó decisivamente a ver el proceso económico desde un punto de vista evolutivo, relacionando los resultados de la biología con la ciencia económica y entendiendo la economía como una rama de la biología interpretada ampliamente. Su bioeconomía fue la fusión de ambas cosas habida cuenta de que, por un lado, la especie humana es una de las especies biológicas del planeta y, como tal, se encuentra sometida a las leyes que gobiernan la naturaleza y, de otra parte, es la única especie que en su evolución ha violado ciertos límites biológicos (Georgescu-Roegen, 1977a).

Esto lo explica Georgescu-Roegen partiendo de una distinción conceptual —acuñada por el biólogo Alfred Lotka— entre los órganos endosomáticos y los órganos exosomáticos. Los primeros tienen la peculiaridad de acompañar a todo ser vivo desde su nacimiento hasta su muerte (brazos, piernas, ojos, etc.). Precisamente mediante los cambios en esta clase de órganos todo animal se va adaptando mejor o peor a las condiciones vitales y de su entorno. Pero la especie humana halló un método más rápido de evolucionar a través de la progresiva fabricación de órganos separables —o exosomáticos— que, no formando parte de la herencia genética de la humanidad, son utilizados por esta en su desarrollo evolutivo para vencer las restricciones biológicas propias. Ejemplos de este tipo de órganos pueden ser desde un simple martillo hasta un automóvil. Muchos de ellos son denominados por los economistas como capital, hecho que "inconscientemente" refleja cómo la visión del proceso económico, entendida como una extensión del proceso biológico en sentido amplio, posee un sólido fundamento. Georgescu-Roegen percibió también muy lúcidamente el conflicto social asociado a la posesión de estos órganos exosomáticos, que desembocan en la aparición de desigualdades sociales importantes: la desigualdad, los privilegios, las luchas de clases y otras luchas sociales están íntimamente unidas a la producción y disfrute de estos órganos exosomáticos (Georgescu-

Roegen, 1977b).

Es cierto que el economista rumano encontró apoyo e inspiración para su bioeconomía en las enseñanzas de algunos autores de la propia tradición económica como, por ejemplo, Schumpeter, Marshall y Marx, o de científicos como Sadi Carnot, precursor de la termodinámica, al que Georgescu-Roegen consideraba "el primer económetra"; en las reflexiones de Erwin Schrödinger sobre el mantenimiento de la vida a través de la absorción de baja entropía del entorno para transformarla en alta entropía; o, en fin, en el legado del biólogo Alfred Lotka ya mencionado. Todo ello le permitió configurar una visión novedosa de la evolución del sistema económico. Una visión que tuviera en cuenta los resultados fundamentales de las ciencias de la naturaleza, que hiciera explícito, en definitiva, el acercamiento de la economía hacia sus orígenes biofísicos, esto es: entendiendo la actividad económica, con sus peculiaridades, como una extensión —en sentido amplio y sin reduccionismos— de la evolución biológica de la humanidad (cf. Georgescu-Roegen, 1977a).

Georgescu-Roegen dedicó varios pasos de su libro La ley de la entropía y el proceso económico a discutir el concepto de evolución y el segundo principio de la termodinámica como ley evolutiva fundamental. Apoyándose en su maestro Schumpeter y su concepto de innovación, resaltó el rasgo de la aparición de novedad por combinación, de creación de nuevos bienes, servicios y procesos a través de la combinación de elementos y procesos preexistentes, y que hace del desarrollo económico algo evolutivo e irreversible. Y como, además, representa un cambio cualitativo en relación con fenómenos previos, no resulta fácilmente manejable con los modelos convencionales y los agregados de la contabilidad nacional planteados por los economistas. No en vano, la mayoría de los indicadores "cuantitativos" utilizados para medir la evolución del sistema en su conjunto —como el Producto Interior Bruto (PIB)— ofrecen trayectorias mecánicas simétricas y reversibles, pudiendo aumentar (crecimiento) o descender (depresión). Del mismo modo ocurre con los procesos de acumulación/desacumulación, inversión/desinversión, etc., que no distinguen la diferente naturaleza cualitativa de los bienes y servicios incluidos, o los procesos de innovación y aparición de nuevas mercancías que hacen

difícil hablar del crecimiento en el tiempo de una misma cantidad de PIB. El desarrollo económico es, por el contrario, un proceso diferente, refleja cambios cualitativos y, por lo tanto, incorpora un matiz dialéctico y evolutivo (Georgescu-Roegen, 1974). Estos rasgos hacen que se resista a un tratamiento con conceptos y modelos aritmomórficos11, lo que explica la dificultad para elaborar herramientas analíticas satisfactorias, y la imposibilidad de establecer predicciones futuras sobre su trayectoria. Los continuos errores y las dificultades con que se encuentran los económetras a la hora de predecir el futuro más inmediato de cualquier variable económica son una muestra palmaria de este hecho.

Son varias las contribuciones que aún podríamos añadir, pero el espacio es limitado y ya hemos realizado esa tarea con más detenimiento en otro lugar (Carpintero, 2006). Dado el año en que estamos, baste recordar, para terminar, un último asunto. En 1972, justo un año después de la publicación de La ley de la entropía, vio la luz el importante y polémico informe al Club de Roma titulado The Limits to Growth, del que ahora se cumple también medio siglo. Se trataba de un análisis prospectivo de las restricciones naturales a la expansión de la actividad económica que ya había sido planteada por otros autores, si bien no con la amplitud de pronóstico del "Informe Meadows". Georgescu-Roegen terció en la polémica sobre los límites del crecimiento con un largo artículo titulado "Energía y mitos económicos" (Georgescu-Roegen, 1975a), donde reafirmaba sus postulados sobre el carácter entrópico del proceso económico y criticaba abiertamente la reacción de los economistas convencionales ante dicho informe. Y a la vez que mostraba su simpatía por el empeño desarrollado en Los Límites del crecimiento, expresó también sus cautelas hacia algunas de sus tesis.

Su peculiar posición en la polémica le llevó también a discutir tres de los mitos sobre los que la economía convencional pretendía refutar la existencia de límites al crecimiento: la irrelevancia de los recursos naturales en las funciones agregadas de producción, el progreso tecnológico como solución a todos los problemas ambientales y lo que él denominó el "dogma energético", esto es: la fe en que el único requisito para producir bienes y servicios es la energía, olvidando la función complementaria de los materiales y

cómo estos también están sometidos a las limitaciones de la ley de la entropía (Georgescu-Roegen, 1977c y 1979b). De hecho, un aspecto interesante y novedoso de la aportación de Georgescu-Roegen a los debates de los años setenta, que puede ayudar ahora en muchas de las discusiones sobre los límites de la transición energética y la expansión de las energías renovables, es, precisamente, recordar las enseñanzas que se derivan de su crítica frente a esos tres mitos[12].

Para concluir

Desde hace décadas hay economistas ecológicos que piensan la economía y las relaciones entre esta y la naturaleza con los mimbres dejados por Georgescu-Roegen, y también se encuentran aportaciones que van más allá de lo que el economista rumano puso sobre el papel. Este pensar en continuidad con Georgescu-Roegen ha rescatado casi todos los elementos críticos de sus contribuciones, recuperando sus reflexiones metodológicas transdisciplinares, las sugerencias heterodoxas sobre las teorías convencionales de la producción y el consumo, y aquellas más vinculadas a la termodinámica, en concreto, a la ley de la entropía. En esta senda se encuentran tanto la labor de reivindicación general de la obra de Georgescu-Roegen por parte de Daly (1995 y 1997), Grinevald (1996) y Carpintero (2006) como los trabajos de profundización en el enfoque del economista rumano realizados por Mayumi, Giampietro y Gowdy (Gowdy, 1993 y 2016; Mayumi, 2001; Mayumi y Gowdy, 1999; Mayumi, Giampietro y Gowdy, 1998). A esto habría que sumar también la meritoria labor de recuperación y conexión del enfoque bioeconómico de Georgescu-Roegen y las propuestas decrecentistas realizada desde hace años por Bonaiuti (2011).

Cabe añadir, además, que ese “pensar con Georgescu-Roegen y más alla de Georgescu-Roegen” no solo ha afectado a los economistas ecológicos, sino que algunas de las aportaciones del economista rumano a la representación del proceso económico de producción

(como el modelo flujos-fondos) han sido reivindicadas también por economistas pertenecientes a otras tradiciones heterodoxas del pensamiento económico (Mir y González Calvet, 2003 y 2007; Vitucci y Marzetti, 2013).

Todo ello es, en fin, un signo de la fertilidad y del carácter excepcional y singular de su obra. Una obra que no solo incorpora elementos novedosos de crítica hacia el enfoque económico convencional, sino que construye sobre cimientos muy sólidos un planteamiento bioeconómico alternativo que cada vez resulta más urgente y necesario cinco décadas después. Y todo lo hizo, no lo olvidemos, en unos años en que ejercer la lúcida disidencia resultaba, como siempre, peligroso.

¿Cuánto tiempo seguirán ignorando los economistas neoclásicos las aportaciones de Georgescu-Roegen?*[13]

Herman E. Daly

Introducción

Siempre habrá alguien que se oponga inmediatamente al título que he elegido, señalando que Georgescu-Roegen no ha sido ignorado en absoluto. Evidentemente, fue miembro distinguido de la American Economic Association; Paul Samuelson, el papa de los economistas estadounidenses, lo calificó de "erudito entre los eruditos, economista entre los economistas" (1965) y Mark Blaug (1985) lo incluyó en su obra Great Economists Since Keynes [Grandes economistas desde Keynes]. Todo eso es cierto. Ahora bien, lo que quiero decir es que Georgescu-Roegen ha sido ignorado en el sentido de no haber sido tomado en serio. El mismo Samuelson ha dicho poco sobre Georgescu-Roegen desde su panegírico de 1965. ¿Ha cambiado su opinión? En ese caso, ¿por qué? Por supuesto, ninguna de las ideas de Georgescu-Roegen sobre los fundamentos biofísicos de la economía formó nunca parte del canon del famoso manual de Samuelson, ni los propios colegas y estudiantes de Samuelson en el MIT (Massachusetts lnstitute of Technology) le han prestado la más mínima atención. La misma American Economic Association no prestó atención al fallecimiento de Georgescu-Roegen, y en el Departamento de Economía de la Universidad de Vanderbilt, donde enseñó a lo largo de veinte años, quedan pocos rastros de su influencia. ¿Hubo alguien que posteriormente refutase al "economista entre los economistas"? ¿Quién y dónde? ¿A qué se debe esta combinación de reconocimiento temporal seguido de aparente amnesia? Mark Blaug

(1985: 71) proporciona una respuesta parcial:

Es de justicia añadir que las últimas obras de Georgescu-Roegen no han sido bien recibidas o, mejor dicho, han sido respetuosamente recibidas y rápidamente dejadas de lado. Debido a diversas y complejas razones, por no mencionar el difícil estilo en que se han escrito y las amenazantes referencias que contienen respecto de los desarrollos teóricos producidos en la física y en la biología, esas obras no han sido realmente objeto de discusión crítica alguna por parte de los economistas.

Podría parecer que los economistas son alérgicos a la física y a la biología, y que habría que disculparles por cualquier contacto habido con esas ciencias tan irritantes e intimidantes. Después de todo, los neoclásicos invirtieron mucho tiempo en aprender matemáticas, lo que se pensó que era suficiente para adquirir estatus científico, o al menos apariencia de tal estatus. Por otro lado, hay que tener en cuenta que, si se empiezan a recargar los modelos matemáticos del crecimiento con dimensiones biofísicas, se pierde la belleza analítica y la austera elegancia de la matemática pura. Al tiempo, aparecen también desagradables cuestiones políticas relacionadas con los límites biofísicos del crecimiento económico y con la suficiencia de ese crecimiento como panacea para la pobreza, el paro, la superpoblación, la degradación ambiental, etc. Se podría llegar incluso a la muy inoportuna conclusión de que algunos respetados economistas han estado diciendo durante mucho tiempo algunas cosas muy erróneas.

En un serio homenaje a Georgescu-Roegen, Silvana de Gleria (1995) ha afirmado que sus ideas iban por delante de su época. Si esto es cierto, y pienso que lo es, el futuro habrá de presenciar nuestro reencuentro con el pensamiento de Georgescu-Roegen. Creo que tal cosa sucederá sin duda alguna. Aunque parezca descortés expresarlo así, las ideas de Georgescu-Roegen pueden avanzar con más rapidez ahora que él mismo no está ya aquí para ahuyentar a los que le rodeaban con su irascible carácter y su impaciencia en “sufrir gustosamente a los bobos”. Puede ser que algunos de los

admiradores secretos de Georgescu-Roegen defiendan ahora abiertamente su causa, sin temer ya que el Maestro les repudie debido a alguna pequeña diferencia.

En su excelente ensayo necrológico y resumen de las aportaciones de Georgescu-Roegen, Maneschi y Zamagni (1997: 705) subrayan que, a pesar del reconocimiento otorgado a Georgescu-Roegen, "resulta un tanto paradójico que Georgescu parezca ser mejor conocido fuera de su país adoptivo, los Estados Unidos, que dentro de él". Si bien en cierto sentido esta observación añade piezas al rompecabezas, sugiere también una pista para su resolución. En efecto, los economistas europeos pueden haber sido más receptivos debido a que estudiaron a Georgescu-Roegen a distancia, más a través de sus obras que de su persona. Igualmente, los europeos conceden más respeto a los profesores que los estadounidenses, lo que al tiempo hizo que fuesen más fáciles las relaciones personales con Georgescu-Roegen, pues, al ser también este europeo, consideraba que los demás le debían una deferencia respetuosa. Y, lo que es más importante, los europeos se encuentran mucho menos dominados que los economistas estadounidenses por el Departamento de Economía del MIT y sus clones.

A pesar de la laudatio de Samuelson en 1965, los neoclásicos estadounidenses consideraban que Georgescu-Roegen era excesivamente difícil de tratar. En último término, era un matemático consumado que criticaba el empleo excesivamente frecuente y pretencioso de las matemáticas en la economía, y, como ya se ha destacado, no era un hombre de trato fácil. Personalmente, le pregunté una vez por qué pensaba que la "mafia" (expresión suya) neoclásica del MIT no se refería nunca a él o citaba su obra; me contestó con el refrán rumano que dice que "no debe mencionarse al verdugo en casa del ahorcado". En cierto sentido, él mismo era un verdugo, pero por regla general un verdugo justo. La discusión de su crítica de Solow y Stiglitz puede proporcionar tanto un ejemplo de su justicia como de la capacidad de la escuela neoclásica para contestar con evasivas durante veinte años. En modo alguno la ira de Georgescu-Roegen carecía siempre de provocación.

Como han puesto de manifiesto Gowdy y Mesner (1998),

Georgescu-Roegen rompió finalmente con los economistas estándar y dimitió de la American Economic Association. El propio Georgescu-Roegen juzgó la situación con las siguientes palabras:

El hecho de que finalmente me diera cuenta de que había estado luchando contra una u otra corriente no se debió a que hubiese cruzado aceros intelectuales con mis colegas economistas, quienes rehuyeron sistemáticamente un encuentro semejante, sino a las actitudes personales que adoptaron frente a mí. Fui mimado por los economistas matemáticos solo mientras realicé aportaciones a la economía matemática (Georgescu-Roegen, 1992: 156).

Que esa evitación sistemática de todo trato intelectual con Georgescu-Roegen sigue siendo el modus operandi del mundo neoclásico se pone de manifiesto en la discusión incluida en Ecological Economics en septiembre de 1997. En lo que sigue se continúan algunas partes de esa discusión.

La crítica de Georgescu-Roegen a la idea neoclásica

de la producción de Solow/Stiglitz

En su "Richard T. Ely Lecture" para la American Economic Association, Robert Solow (1974: 11) afirmó que "si es muy fácil sustituir recursos naturales por otros factores, entonces no hay en principio 'problema' alguno. En efecto, el mundo puede continuar sin recursos naturales". Como declaración del tipo "si…, entonces…", no es menos cierta que decir "si con desear bastara, los pobres dejarían de serlo", pero la realidad es que no basta con desear y que los recursos naturales y el capital no son generalmente sustitutivos, sino complementarios. Aunque indudablemente es útil plantear esa posibilidad condicional en aras de la conclusión de las alternativas, habría que esperar que, una vez estudiado, el caso de

producción-sin-recursos se dejase de lado por irreal e indigno de nuevo análisis. Sin embargo, Solow no prescinde de él, sino que lo conserva como posibilidad real. De hecho, es precisamente esta "posibilidad real" lo que ha servido de fundamento de buena parte de su obra anterior. Su conocida obra sobre la teoría del crecimiento se basa en una función agregada de producción en la que no aparecen en absoluto los recursos y que supone que la producción es únicamente una función del capital y del trabajo. Esa función de producción es una forma matemáticamente transparente de decir que "el mundo puede, realmente, continuar sin recursos naturales".

¿Qué base empírica ofrece Solow para esta notable afirmación sobre la forma en que trabaja el mundo? En el siguiente apartado, dice: "Afortunadamente, la escasa evidencia disponible sugiere que existe una gran sustituibilidad entre los recursos limitados y los recursos renovables o reproducibles". Cierto, pero irrelevante. El problema no reside en la sustituibilidad entre dos tipos de recursos naturales; se trata más bien de la sustitución de recursos por capital, lo que es una cuestión totalmente diferente. Una fácil sustituibilidad entre dos tipos de recursos naturales no ayuda en absoluto a que el mundo continúe sin recursos naturales.

Dado que frecuentemente se explica la función de producción como una receta técnica, podríamos decir que la receta de Solow propone hacer un pastel solamente con el cocinero y su cocina. No necesitamos harina, huevos, azúcar, etc., ni electricidad o gas natural, ni siquiera leña. Si lo que queremos es un pastel más grande, el cocinero simplemente revuelve más rápidamente en una olla mayor y cocina la olla vacía en un horno más grande que de algún modo se calienta por sí mismo. El cocinero tampoco tiene que limpiar nada, ya que la receta de producción no ocasiona desecho alguno. No hay pieles, mondaduras, cáscaras, conchas u otros residuos, ni hay cenizas del horno que hayan de ser eliminadas. Además, podemos hacer no solamente un pastel,sino cualquier tipo de comida —sopa, pollo asado, paella, tarta de plátanos, pastel de cerezas—, y todo ello sin preocuparse de la diferente calidad de los ingredientes y ni siquiera de la cantidad de los mismos ingredientes.

Frente a ello, huelga decir que las recetas reales que se incluyen en

los libros de cocina reales comienzan con una lista de ingredientes específicos y sus cantidades. Al igual que sucede con la mejor práctica culinaria, una receta técnica de producción que contradiga tanto la primera como la segunda ley de la termodinámica representa algo más que un mero problema. Eso llevó a Georgescu-Roegen a pronunciar el siguiente veredicto sobre Solow:

Hay que tener una visión muy equivocada del proceso económico en su conjunto para no darse cuenta de que no existen más factores materiales que los recursos naturales. Seguir manteniendo que "en realidad, el mundo puede continuar sin recursos naturales" supone ignorar la diferencia existente entre el mundo real y el Jardín del Edén (Georgescu-Roegen, 1975b: 361).

Posiblemente como concesión inconsciente a la crítica de Georgescu-Roegen, podemos encontrar algunos años después una nueva versión de la función de producción en la que los recursos aparecen junto al trabajo y al capital, multiplicados todos ellos entre sí en una función Cobb-Douglas. Georgescu la denominó "variante Solow/Stiglitz" y demostró que la inclusión de R (recursos) en este tipo de función de producción no hace más que ocultar la contradicción bajo la alfombra, sin eliminarla en absoluto.

Merece la pena citar detenidamente a Georgescu-Roegen en este punto. Escribe la "variante Solow/Stiglitz" de la función Cobb-Douglas como:

(1)

donde Q es la producción, K es el stock de capital, R es el flujo de recursos usados en la producción, L es la oferta de trabajo y a1 + a2 + a3 = 1, y, evidentemente, ai > O.

De la fórmula anterior se deduce que, con una fuerza de trabajo constante L0, podría obtenerse cualquier Q0 , si el flujo de recursos naturales satisficiese la condición

(2)

Esto demuestra que R puede ser tan pequeña como deseemos, siempre que K sea suficientemente grande. Ergo, podemos obtener un producto anual constante indefinidamente, incluso a partir de un stock muy reducido de recursos, R > O, si descomponemos R en una serie infinita Ri =ΣR; con Ri→ O, usando Ri en el año i, y aumentando el stock de capital cada año como lo requiere la ecuación (2). Pero este "ergo" no es realmente válido. En la vida real, el aumento de capital implica una disminución adicional de recursos. Y si K→infinito, la producción de capital agotará rápidamente R. Solow y Stiglitz no habrían llevado a cabo su truco de magia si hubiesen tenido en cuenta, primero, que todo proceso material consiste en la transformación de unas materias en otras (los elementos flujo) por parte de unos agentes (los elementos fondo), y, segundo, que los recursos naturales se ven muy socavados por el proceso económico. No son como cualquier otro factor de producción. Una variación en el capital o el trabajo únicamente puede reducir la cantidad de desechos en la producción de una mercancía: ningún agente puede crear la materia con la que trabaja, ni el capital puede crear la sustancia de la que está hecho. En algunos casos, podría suceder que determinado servicio se proporcionase de una forma que requiera menos materia o energía, pero incluso así existe un límite, a no ser que creamos que el destino último del proceso económico es un Jardín del Edén terrenal.

La cuestión que se nos plantea actualmente es si vamos a descubrir nuevas fuentes de energía que puedan usarse sin peligro. Ninguna elasticidad de cualquier función Cobb-Douglas puede ayudarnos a responderla (Georgescu-Roegen, 1979d: 98; véase, también, Stiglitz,

1979: 41, n. 5).

Que yo sepa, ni Solow ni Stiglitz han contestado nunca la crítica de Georgescu-Roegen. ¿Qué podrían haber replicado? Consideremos unas cuantas posibilidades que otros han planteado en contextos semejantes.

En primer lugar, cabría sostener que los recursos pueden dejarse fuera de la función de producción, ya que no son verdaderamente escasos. Así, el aire es normalmente necesario para la producción, pero no lo incluimos explícitamente en la función debido a que se considera un bien libre. Este argumento pierde verosimilitud tan pronto como recordamos que la mayor parte de los recursos no son bienes libres. Además, en pura lógica no podemos usar el precio, ni siquiera un precio cero, como coeficiente de factores en la función de producción. Esta es una receta técnica con todos sus términos expresados en unidades físicas, no en valores. El hecho de que las funciones de producción agregadas puedan usar precios como ponderaciones para calcular un índice cuantitativo agregado (en términos de dólares) de capital (o de trabajo o recursos) constituye un problema fundamental que limita la utilidad de las funciones de producción agregadas, y no es una respuesta a la dificultad que hemos planteado. De igual modo, el hecho de expresar las cantidades de diferentes factores en unidades del mismo numerario refleja una hipótesis, no una demostración, de que los factores son sustituibles.

En segundo lugar, se afirma a veces que dejar los recursos fuera de la función de producción viene justificado por la hipótesis implícita de que los recursos pueden ser perfectamente sustituidos por el capital reproducible. Nordhaus y Tobin (1972) son bastante explícitos al respecto:

El modelo estándar de crecimiento dominante supone que no existen límites a la posibilidad de ampliar las ofertas de agentes productivos no humanos. Se trata básicamente de un modelo de dos factores en el que la producción depende exclusivamente del trabajo

y del capital reproducible. La tierra y los recursos naturales, el tercer miembro de la triada clásica, han sido generalmente eliminados […] siendo la justificación tácita que el capital reproducible es un sustitutivo casi perfecto de la tierra y de los restantes recursos limitados.

Si fuese así, podríamos igualmente dejar fuera el capital e incluir los recursos naturales (la sustitución es reversible), pero nadie sugiere que se haga tal cosa (para una discusión relacionada con lo anterior, véase Victor, 1991). Hacerlo de este modo significaría ir contra el espíritu de la teoría neoclásica, consistente en negar un papel importante a la naturaleza[14].

La variante Solow/Stiglitz incluye los recursos de forma explícita, pero implícitamente formula una hipótesis semejante en lo que respecta a la casi perfecta sustitución de recursos por capital, lo que Georgescu-Roegen desechó acertadamente como "truco de magia". En la variante Solow/Stiglitz, para hacer un pastel necesitamos no solo al cocinero y su cocina, sino también cierta cantidad distinta de cero de harina, azúcar, huevos, etc. Todo ello parece un gran paso adelante hasta que nos damos cuenta de que podríamos hacer nuestro pastel mil veces mayor sin más ingredientes, simplemente con que batiésemos todo con mayor rapidez y utilizásemos ollas y hornos más grandes. El truco de magia consiste en hacer como que se respeta la primera ley de la termodinámica (equilibrio material), sin hacerlo realmente así.

Otra argumentación en favor de la falta de importancia de los recursos apareció en la influyente obra Scarcity and Growth de Barnett y Morse, quienes afirmaron lo siguiente:

Los avances experimentados por la ciencia básica han hecho posible aprovecharse de la uniformidad de la materia/energía, uniformidad que hace posible, sin límite prefijado, librarse de las restricciones cuantitativas impuestas por el carácter de la corteza terrestre... La naturaleza impone determinadas escaseces, no una escasez general ineludible (Barnett y Morse, 1963: 11).

Justamente bajo la superficie descansa el sueño alquimista de convertir plomo en oro. Todo lo que necesitamos de la naturaleza son ladrillos uniformes indestructibles, la "quintaesencia" de los alquimistas a la que se pensaba podían reducirse las cuatro esencias tradicionales (tierra, aire, fuego y agua) y a través de la cual podían convertirse entre sí. Dados los ladrillos, todo lo demás es transmutación: valor añadido por el capital y el trabajo (y quizá unas cuantos símbolos o palabras mágicos). El progreso técnico hace posible que el trabajo y el capital proporcionen más valor añadido a los ladrillos inertes, pero la naturaleza sigue siendo innecesaria después de la provisión inicial de esos ladrillos. Este punto de vista respeta por lo menos la primera ley de la termodinámica, pero desgraciadamente se estrella de frente contra la segunda. En efecto, si bien podría ser técnicamente posible convertir plomo en oro, eliminando así la escasez específica de oro, no se acaba con la escasez general, ya que las posibilidades de hacer tales conversiones son escasas por sí mismas. Tales posibilidades tienen que ser usadas continuamente por la economía y vueltas a suministrar por la Naturaleza en forma de recursos naturales de baja entropía.

Otra posible réplica partiría de la afirmación del propio Georgescu-Roegen de que, en algunos casos, "puede proporcionarse el mismo servicio a través de un sistema que requiera menos materia o energía". Implícitamente esto introduce una distinción entre la sustitución entre factores con un conjunto dado de tecnologías (estado de la técnica existente) y la sustitución entre factores posible gracias a una nueva tecnología (estado de la técnica mejorado). Incluso el último caso se encuentra limitado —Georgescu-Roegen insiste en que las futuras tecnologías deben ajustarse también a las leyes de la termodinámica—, pero lo deja aquí. Precisamente sigue siendo un problema pendiente la medida en que la nueva tecnología puede aliviar la carga de la escasez dentro del límite marcado por las leyes físicas, pero, además, se trata realmente de una cuestión diferente de la que estamos tratando, ya que, al construir su función de producción agregada; Solow/Stiglitz pretenden representar los procesos productivos reales actuales y del pasado reciente, no desconocidas posibilidades

futuras. La función de producción se diseña como representación empírica de los procesos productivos reales, siendo en este sentido en el que ha de afirmarse su fracaso. Que tampoco sería capaz de describir las tecnologías futuras es una crítica a fortiori.

En un artículo, por lo demás crítico con la teoría neoclásica, Ayres (1996: 12) ofrece una defensa encarnizada de Solow/Stiglitz, sin la cual considera devastadora la crítica de Georgescu-Roegen. La excesivamente generosa defensa de Ayres dice que "en el lejano futuro, el sistema económico no necesita producir cantidades significativas de bienes materiales". Más adelante, en la misma página, refunde implícitamente la función de producción con la función de utilidad, para afirmar que "nadie puede definir un input material mínimo absoluto y finito necesario para producir una unidad de bienestar económico". Puede que no, pero estábamos hablando de producción física, no de bienestar. Incluso las funciones de producción que dan como resultado servicios están produciendo un output físico, el uso de alguien o de algo durante cierto periodo de tiempo, lo que es totalmente diferente de la utilidad o del bienestar. Es posible que el servicio de mi médico pueda no elevar en absoluto mi bienestar, y puede que hasta llegue a reducirlo, pero sigue siendo un servicio mensurable por el que se me pasa una factura. Ahora bien, incluso sin esta clarificación, Ayres creyó necesario condicionar inmediatamente su afirmación poniendo en tela de juicio la existencia de un input material mínimo, añadiendo "con la obvia excepción de la comida y la bebida". ¿No hay también otras excepciones obvias, como el vestido y la vivienda?

Puede que existan otras réplicas a la crítica de Georgescu-Roegen que sean algo más convincentes que las que se han considerado aquí, pero en ese caso Solow o Stiglitz deberían romper su silencio y responder finalmente a la crítica de enorme calado de Georgescu. Evidentemente, Georgescu ha fallecido ya, pero su crítica no lo hecho con él. Tanto las críticas serias como las réplicas serias forman parte esencial de la ciencia. Cuando una crítica fundamental hecha por un destacado economista cumple veinte años sin réplica alguna, debiéramos preocuparnos por la salud de nuestra disciplina.

Consideremos ahora otra dificultad importante derivada del truco

de magia consistente en colocar R en una función de producción juntamente con K y L. Una consecuencia inmediata de tal cosa es que las productividades físicas marginales de K y L tendrían que ser cero una vez incluida R en la función. Esto se debe a que la definición de productividad marginal de un factor exige que las cantidades de todos los demás factores se mantengan constantes al añadir una unidad más del factor variable. Ahora bien, si los recursos se mantienen constantes, no puede haber ninguna unidad más de producto al incrementar el trabajo o el capital, ya que no existe sustancia física extra de la que pueda hacerse el producto extra; tendría que producirse de la nada, violando una vez más la primera ley de la termodinámica[15]. Evidentemente, este problema no se limita a las funciones CobbDouglas, sino que toda función de producción que obedezca a la primera ley de la termodinámica no puede evitar una rigurosa complementariedad entre los recursos, por un lado, y el capital o el trabajo, por otro.

Las productividades físicas marginales iguales a cero de trabajo y capital, consecuencia necesaria de incluir R en toda función de producción que obedezca a las más básicas leyes de la naturaleza, llevaría a la destrucción de la teoría neoclásica de la distribución, precio posiblemente demasiado elevado por admitir que el mundo, en realidad, no puede continuar sin recursos naturales. Y una vez que hemos admitido que tanto los procesos naturales como el trabajo y el capital añaden valor a los ladrillos indestructibles, debemos preguntar quién tiene derecho a apropiarse la contribución de la naturaleza. No se trata en modo alguno de cuestiones triviales. Es cierto que podemos continuar escribiendo funciones matemáticas que contradigan las leyes físicas, llamarlas funciones de producción, hallar las derivadas parciales de L y K, y seguir denominándolas productividades marginales del trabajo y del capital. Pero entonces, como dijo Georgescu-Roegen, todo ello se convierte en una “mera operación de papel y pluma”.

El modelo fondo-flujo del proceso productivo ideado por Georgescu es superior a la función de producción neoclásica. Pone de relieve que físicamente lo que llamamos producción es en realidad transformación: de recursos en productos útiles y en productos de desecho. El trabajo y el capital son agentes de transformación (causas eficientes), mientras que los recursos, materia/ energía de

baja entropía, son lo que se transforma (causas materiales). Frecuentemente podemos sustituir una causa eficiente por otra o una causa material por otra, pero la relación entre causa material y eficiente es básicamente de complementariedad, no de sustituibilidad.

En caso de que deseemos mantener la función de producción neoclásica, tenemos al menos que incluir los inputs de recursos naturales y los outputs de desechos, y además tenemos que adoptar representaciones matemáticas que, a diferencia de las habituales formas multiplicativas, no supongan que los agentes de trasformación (fondos) pueden sustituir a los recursos que se someten a transformación (flujos). La exactitud de la representación analítica de la realidad ha de reemplazar a la maleabilidad matemática como criterio principal de un buen modelo. Una vez que reconozcamos la realidad de los inputs procedentes de la naturaleza, debemos plantearnos su escasez y los procesos ecológicos que los regeneran. Igualmente, una vez que reconozcamos la necesidad de devolver a la naturaleza los productos de desecho, hemos de plantearnos la capacidad de los ecosistemas para absorber tales desechos. No seremos ya capaces de evitar la visión ecológica de la economía como subsistema abierto de un complejo ecosistema que es finito, estacionario y materialmente cerrado. De este modo, los economistas neoclásicos se convertirían en economistas ecológicos.

Posiblemente, la mejor forma de obtener una respuesta a la crítica de Georgescu-Roegen no consista en exponerla de nuevo a la misma gente que la ha ignorado durante veinte años, sino más bien en pedir a diez mil estudiantes que planteen en clase a sus profesores de economía las siguientes preguntas:

¿Cree que las actividades económicas deben satisfacer el equilibrio material?

¿Por qué las funciones de producción neoclásicas no satisfacen la condición del equilibrio material?

¿Cree que es correcta la interpretación de la producción como

transformación física hecha por Georgescu-Roegen?

¿Está de acuerdo en que el sistema económico se encuentra incrustado en el más amplio sistema ambiental y que depende por completo de él tanto en su carácter de fuente como en el de sumidero de la materia/energía transformada por la actividad económica?

¿Cree que las transformaciones de materia/energía que precisa la actividad económica se encuentran limitadas por la ley de la entropía?

En un foro de discusión llevado a cabo en Ecological Economics (1997), se plantearon a Solow y Stiglitz esas cinco preguntas, junto a la resucitada crítica de Georgescu-Roegen al modelo neoclásico de producción, tal como se ha reformulado antes. En sus respuestas, ni Solow ni Stiglitz mencionaron a Georgescu. En buena parte, se limitaron simplemente a repetir su conocida postura en vez de a defender esa misma postura frente a los argumentos que había planteado Georgescu-Roegen. Pero en la clausura Solow dio algunas respuestas directas, aunque breves, a las cuestiones anteriores. Incluyo ahora las cinco preguntas, las respuestas de Solow y mis comentarios a cada una de ellas.

1. ¿Cree que las actividades económicas deben satisfacer el equilibrio material?

Respuesta de Solow: "Sí".

Comentario: De acuerdo.

2. ¿Por qué las funciones de producción neoclásicas no satisfacen la condición del equilibrio material?

Respuesta de Solow: "Porque hasta ahora, y a nivel agregado, considerado el ámbito geográfico y temporal, el equilibrio material no ha sido un factor de control en el crecimiento de las economías industriales".

Comentario: El equilibrio material tiene lugar a todos los niveles de agregación y de ámbito geográfico y temporal, por lo que las puntualizaciones de Solow no son pertinentes. Creo que lo que Solow quiere decir es que el equilibrio material no es importante debido a que la propia materia carece de importancia, hecho que está implícito en su empleo de una función de producción en la que los flujos materiales se encuentran ausentes o pueden sustituirse de algún modo por stocks de capital. Si los propios flujos materiales no son importantes, carecerían igualmente de importancia los equilibrios materiales. Esta es la razón por la que Georgescu-Roegen criticó a Solow por analizar el "Jardín del Edén" en vez del mundo real. La crítica sigue sin respuesta. ¿Acaso indica la puntualización "hasta ahora" una expectativa de que la situación va a cambiar, de que adquiere importancia la restricción constituida por el equilibrio material?

3. ¿Cree que es correcta la interpretación de la producción como transformación física hecha por Georgescu-Roegen?

Respuesta de Solow: "Se trata sin duda de un aspecto de la producción".

Comentario: Cierto, pero Solow ha considerado que es un aspecto muy poco importante, del que podría perfectamente hacerse abstracción en la representación analítica de la producción. Georgescu-Roegen le criticó precisamente por eso, por hacer abstracción de lo esencial, en vez de lo secundario. Si la producción es esencialmente la transformación de un flujo de inputs de recursos en outputs de productos, actuando los fondos de capital y trabajo como agentes de la transformación, el capital y los recursos deben tener más el carácter de complementos que el de sustitutos. Como

subrayó Georgescu-Roegen, los agentes de la transformación no pueden crear las materias que transforman, ni siquiera las materias de las que están hechos los propios agentes. Los agentes de la transformación y la materia objeto de esa transformación son básicamente complementarios. Únicamente pueden ser sustitutivos en el margen de la reducción a cero de materias en proceso, por ejemplo, utilizando una prensa para eliminar partículas de virutas y serrín; pero en ese caso, la prensa (capital) y las virutas (recursos) son nuevamente complementarios. Solow no reconoce en absoluto esa complementariedad fundamental, a la que saca del escenario a través de su definición más técnica basada en el output constante (eliminando así a la complementariedad de un mundo de dos factores). Georgescu-Roegen sigue sin respuesta.

4. ¿Está de acuerdo en que el sistema económico se encuentra incrustado

en el más amplio sistema ambiental y que depende por completo

de él tanto en su carácter de fuente como en el de sumidero de la materia/energía transformada por la actividad económica?

Respuesta de Solow: "Sí, y me alegro de todos los intentos de modelizar la dependencia de forma transparente, de modo que pueda incorporarse a la economía agregativa".

Comentario: Hay que comprender literalmente de lo que se alegra Solow. Ciertamente, su reciente preocupación por el efecto invernadero es muy bien recibida por los economistas ecológicos. Sin embargo, si se está de acuerdo en que la macroeconomía es un subsistema incrustado en un ecosistema finito, estacionario y materialmente cerrado, ¿habría que esperar que la macroeconomía tuviese una escala óptima con respecto al ecosistema en su conjunto, escala más allá de la cual el crecimiento no fuese económico? ¿Por qué cada actividad microeconómica tiene una escala óptima, mientras se supone que el agregado de todas las

actividades microeconómicas crece eternamente, no limitado por ninguna noción de escala óptima de la macroeconomía en relación al ecosistema? Los economistas ecológicos darían la bienvenida a cualquier intento de Solow por modelizar el límite al crecimiento derivado de la escala óptima de la macroeconomía.

5. ¿Cree que las transformaciones de materia/energía que precisa la actividad económica se encuentran limitadas por la ley de la entropía?

Respuesta de Solow: "No cabe duda de que todo está sometido a la ley de la entropía, pero tal cosa no es de importancia práctica inmediata para modelizar lo que en último término es un breve instante de tiempo en una pequeña esquina del universo".

Comentario: Parece que Solow identifica la ley de la entropía únicamente con la muerte final por calor del universo. No siento mucho que Georgescu-Roegen no basase nunca esta crítica a Solow en un acontecimiento cósmico tan remoto. Pero la ley de la entropía tiene implicaciones más inmediatas e importantes: que no se puede quemar dos veces el mismo trozo de carbón; que cuando se le quema por vez primera se obtiene hollín, cenizas, CO2, y se desperdicia calor, además del calor útil que se consigue. La ley de la entropía nos dice también que el reciclaje de energía es siempre una propuesta vana, que existen límites a la eficiencia en la conversión de energía de una a otra forma, y que hay un límite práctico al reciclado de materiales; y todo ello aquí y ahora, no en el tiempo cósmico. ¿Acaso pretende Solow sugerir que los ingenieros pueden diseñar recetas de producción real que sean capaces de obviar la segunda ley de la termodinámica gracias a que únicamente nos ocupamos de "un breve instante de tiempo en una pequeña esquina del universo"?

Conclusión

La materia/energía de baja entropía es la coordenada física de utilidad, la necesidad básica que los humanos han de utilizar, pero no pueden crear, y en virtud de la cual la economía humana es totalmente dependiente de los servicios de la naturaleza. La entropía es la diferencia cualitativa que distingue los recursos útiles de una cantidad igual de desechos inútiles. La afirmación de Solow de que la entropía "no es de importancia práctica inmediata" para la vida económica es una prueba que apoya la acusación de Georgescu-Roegen de que Solow "debe tener una visión muy equivocada del proceso económico en su conjunto". En cualquier caso, las críticas de Georgescu-Roegen siguen sin respuesta.

Esto último nos vuelve a llevar a la cuestión planteada en el título: ¿cuánto tiempo pueden los economistas neoclásicos seguir ignorando a Georgescu-Roegen? En lo que respecta a la teoría de la producción, la respuesta parece ser "veinte años, y seguimos con evasivas". Hay que concluir afirmando que todo ello es vergonzoso y que ha llegado ya el momento de que aquellos que comprendemos a Georgescu-Roegen insistamos en sus argumentaciones y no permitamos que se pasen por alto.

La ciencia económica y las revoluciones científicas

José Manuel Naredo

Desde la primera edición de mi libro La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico (Naredo, 1987) he venido señalando cómo la metáfora absoluta de la producción es la pieza clave de la ideología económica dominante sobre la que se levanta la llamada ciencia económica imperante, con su idea usual de "sistema económico" y el objetivo del crecimiento (de dicha producción) a la cabeza[16]. Y recordemos que, según la metaforología, una metáfora absoluta es aquella que permite transferir ideología y juicios de valor sobre temas socialmente relevantes sin contar con apoyo racional ni empírico alguno. Su función expresiva no puede, así, racionalizarse, ni el concepto sustituirse, ocupando un lugar esencial en la historia del pensamiento, en este caso, económico que para colmo se reviste de racionalidad científica.

Pues bien, el libro de Nicholas Georgescu-Roegen, cuyo 50 aniversario se celebró el pasado 2021, deconstruyó pioneramente la función de producción que asumía hasta entonces acríticamente el grueso de los economistas. Y con su impugnación constructiva de la función de producción, este autor propuso desde dentro de la profesión trascender el universo aislado del valor monetario en el que la ciencia económica ordinaria se había desenvuelto desde Adam Smith, para ampliar su objeto de estudio abriéndolo hacia otros campos del conocimiento y, muy particularmente, hacia esa economía de la física que es la termodinámica. La propuesta de Nicholas Georgescu-Roegen fue así mucho más allá de las requisitorias morales o de las críticas "sociológicas" centradas en la distribución de la propiedad y de la renta que desde antiguo se venían planteando a los enfoques económicos ordinarios, pues reformula el núcleo duro, matemático y pretendidamente

cuantitativo de la ciencia económica proponiendo un verdadero "cambio de paradigma", según la terminología empleada por Thomas Kuhn en su libro clásico sobre La estructura de las revoluciones científicas (Kuhn, 1962).

La celebración del 50 aniversario del libro mencionado de Nicholas Georgescu-Roegen me ha incentivado a retomar la reflexión sobre "La crisis actual de la ciencia económica y las revoluciones científicas" que presenté y que fue aceptada como contribución al coloquio impulsado por la Asociación Charles Gide para el Estudio del Pensamiento Económico sobre "la noción de revolución científica en economía", celebrado el 26, 27 y 28 de septiembre de l985 en Montpellier[17]. Al desempolvar este texto me afloraron sentimientos encontrados. Por una parte, me congratuló la palpitante actualidad del mismo. Pero por otra me apenó que, pasados ya siete lustros, se haya avanzado tan poco en la consolidación de un nuevo paradigma y que el grueso de los economistas siga aceptando acríticamente el antiguo como base de razonamientos e instituciones. Sobre todo, cuando considero que el triunfo de la "revolución científica" sugerida por Nicholas Georgescu-Roegen en economía es condición necesaria para que triunfe "la transición ecosocial" de la que hoy se habla. A la vista de lo anterior he decidido rememorar mi trabajo "La crisis actual de la ciencia económica y las revoluciones científicas" (Naredo, 1985) y subrayar algunas de las nuevas aportaciones que ayudaron a clarificar la "revolución científica" todavía pendiente en economía.

La primera parte del texto[18] señala las aportaciones que se produjeron en la filosofía de la ciencia tras la publicación del libro de Kuhn para precisar la nebulosa de los "paradigmas" que asumen las comunidades científicas en su quehacer ordinario. Estas aportaciones concluyeron que el núcleo teórico firme que asumía más o menos implícitamente cada comunidad científica podía identificarse desde el ángulo de la lógica matemática con un sistema de axiomas que establecía una red conceptual y un campo de aplicaciones. Advirtiendo que ese núcleo teórico firme crea sus propias evidencias domesticadas que impiden impugnarlo desde la tradición: solo cabe hacerlo desde fuera de la misma, trascendiendo la limitada visión del enfoque económico ordinario, como lo hizo Georgescu-Roegen al visualizar el proceso económico desde el

ángulo de la termodinámica. Así, frente al empeño tan arrogante como infructuoso de crear una ciencia objetiva, libre de influencias metacientíficas, ha madurado aquel otro más modesto y viable de someter a reflexión esas influencias tratando de controlarlas al explicitarlas y relativizar el conocimiento que se deriva de ellas.

Tras esta introducción, el texto mencionado advierte de que "la noción de 'sistema económico'" y la versión cuantitativa corriente que de ella ofrecen las contabilidades nacionales aportan un ejemplo significativo de núcleo teórico firme que orienta la investigación de los economistas sin que pueda verse impugnado por ella. Esa noción de "sistema económico" ha creado así su propio sistema de positividades que lo mantienen al resguardo de la crítica. Su impugnación solo puede realizarse desde fuera, abandonando el aparato conceptual que le da forma, relativizando esa noción y entreviendo la posibilidad de formular otras nociones de "sistema económico".

Estas afirmaciones se realizaban habiendo precisado previamente en el lenguaje matemático ese núcleo teórico firme, pues ya había elaborado y comunicado con anterioridad la axiomática contable que subyace a la idea usual de "sistema económico", dando lugar a varias publicaciones[19].

El sonado y persistente silencio que provocaron todas estas publicaciones denota el escaso afán de repensar la parte no pensada que subyace a la idea usual de "sistema económico" que orienta el quehacer de la comunidad científica de los economistas y que implícitamente asume el común de los mortales. Y si, como precisa el texto "en lo que concierne a la ciencia económica, entendemos por revolución científica un cambio de enfoques que llegue a afectar a ese núcleo teórico firme que constituye la noción usual de 'sistema económico', bien modificándola o bien apartándola del lugar central que hoy ocupa en esta disciplina", resulta obvio que dicha revolución está todavía lejos de producirse. Lo que espero induzca a los lectores de los textos de este aniversario a reflexionar sobre las causas que explican semejante inmovilismo ideológico y, por ende, a ablandar mediante la crítica ese núcleo teórico tan duro que sigue orientando y vertebrando el enfoque económico dominante, con su carrusel de la producción y del consumo y su meta del crecimiento

económico (de dicha producción, cifrada con el famoso PIB).

Entre las causas del impasse ideológico que hacen que siga reinando la confusión en esta pugna de paradigmas, cabe mencionar en primer lugar que, como suele ocurrir, el paradigma dominante se blinda usando categorías supuestamente racionales, objetivas y universales que el común de las gentes asume y utiliza sin prevención alguna en el lenguaje corriente, incluidos muchos de los críticos. Y, en segundo lugar, que dicho paradigma genera "puntos ciegos" que ayudan a ignorar las críticas y, en el caso de que lleguen a trascender, las absorbe, digiere y desactiva. Creo que no es cosa de redundar ahora con ejemplos cuando ya hemos advertido cómo el paradigma reduccionista de la noción usual de "sistema económico", con su carrusel de la producción (con sus afanes de crecimiento), del consumo, del trabajo, ha pasado de ser una creación dieciochesca de la mente humana, a blindarse como paradigma de objetividad y universalidad. Y desde el paradigma dominante se ha venido ignorando, absorbiendo y desactivando la crítica ecológica externa, tratándola en suma como "externalidades ambientales" y estirando la vara de medir del dinero para llevar todos los problemas al redil de la propia noción usual de "sistema económico" y aplicarles la lógica coste-beneficio.

Pese a todo, creo que, frente a las premisas mayores del paradigma ilustrado que en buena medida permanecen vigentes[20] —de las que se nutren las nociones usuales de sistema político y económico—, van emergiendo otras que se podrían agrupar en torno a lo que he venido llamando paradigma ecointegrador, porque frente al predominio de los enfoques sectoriales y parcelarios y los divorcios arriba señalados, defiende el principio de integración en un triple sentido. En primer lugar, integración del conocimiento que trascienda los enfoques parcelarios habituales y, sobre todo, el sonado divorcio entre economía y ecología. En segundo lugar, integración de la especie humana y de la naturaleza, recordando que la simbiosis es la clave del enriquecimiento de la vida en la tierra, lo cual induce a desplazar el actual antropocentrismo hacia un nuevo geocentrismo. Y en tercer lugar, integrando el individuo y la sociedad, lo que implica la reconstrucción profunda de identidades y la recreación de la propia sociedad civil. Con lo cual, la emergencia del paradigma ecointegrador no es cuestión solo de

política y de economía, sino que tendría que abarcar por fuerza las "tres ecologías" a las que se refiere Félix Guattari —la mental, la social y la del mundo físico a gestionar— para integrarse, con palabras de este autor, en una "ecosofía" de nuevo cuño, a la vez práctica y especulativa, ético-política y estética (Guattari, 2000).

El mayor potencial analítico y predictivo del enfoque ecointegrador, unido a su carácter abierto, transdisciplinar, multidimensional y a la mayor amplitud de su objeto de estudio, deberían de potenciar también su naturaleza inclusiva, frente al dogmatismo reduccionista del enfoque económico ordinario. Por ejemplo, en Naredo (2019) aplico enfoques multidimensionales para suplir una paradójica carencia del enfoque económico ordinario: la carencia de una ciencia del lucro que no clasifica ni jerarquiza las formas de lucro, ya que las da por buenas englobándolas indiscriminadamente en el PIB o las ignora cuando no figuran en el mismo —como ocurre, sobre todo, en los últimos tiempos con las plusvalías inmobiliarias y bursátiles o con la creación de dinero bancario y financiero—, haciendo que este enfoque pierda capacidad analítica y predictiva para permitir que cuelen negocios tanto más lucrativos cuanto menos recomendables desde el punto de vista ecológico y social.

El carácter más inclusivo y flexible del nuevo paradigma ecointegrador se mantenía ya en mi antiguo texto antes citado sobre la axiomática cuando, tras subrayar "la manifiesta contradicción entre los principios que inspiran el funcionamiento del 'sistema económico' y aquellos propios del 'sistema ecológico'" añadía:

[…] cosa que no sería grave si, como ha ocurrido en otras ramas del conocimiento, se arrinconaran viejos dogmatismos para dar paso a otros planteamientos más modestos y flexibles: pues hoy no se trata tanto de describir el sistema que se suponía había de regir en cada uno de esos mundos separados, físico, económico, etc., como de estudiar los diversos sistemas que pueden representarlos para elegir aquellos más acordes con el contexto y las finalidades en que se enmarque su aplicación […] En el caso de la ciencia económica, el problema estriba en que la aceptación de esta multidimensionalidad supone romper con el monopolio que ha venido ejerciendo en ella la noción usual de "sistema económico" unidimensionalmente

anclado al reduccionismo del valor monetario [cuyos rasgos esenciales precisa la axiomática incluida en los textos antes citados]. Lo que resulta difícil, dado el carácter absoluto que se ha atribuido en la ciencia económica a esta idea de sistema cerrado sobre sí mismo, que explica la escasa preocupación de los economistas por el análisis de otros sistemas que recaen, desde diversas ramas del conocimiento, sobre los recursos a gestionar y sus posibles finalidades utilitarias, con el consiguiente divorcio entre economía y ecología (Naredo, 1986: 33-34).

En efecto, los dogmatismos siguen impulsando el divorcio entre economía y ecología y haciendo que impere la creencia en el "sistema económico" como en otro tiempo se impuso el sistema newtoniano como dogma del conocimiento científico capaz de explicar el sistema del mundo, como rezaba el título del conocido libro de Laplace (1796). Curiosamente, en economía sigue imperando desde Adam Smith el mismo sistema del mundo económico, cuando en la propia física se han producido revoluciones científicas que cuestionaron el dogma mecanicista como paradigma único de racionalidad y han aparecido otros sistemas con los que interpretar y predecir el mundo —como la física relativista y la física cuántica— quedando la mecánica clásica como una noción sistémica particular que sigue siendo útil para trabajar con las velocidades modestas y los instrumentos del mundo macroscópico al que estamos habituados. Al igual que para el observador de estrellas, puede ser más útil el universo de Ptolomeo que el de Copérnico, aunque sepamos que el Sol, los planetas y las estrellas no giran alrededor de la Tierra. El paradigma ecointegrador propone pasar por fin del dogmatismo de ese único sistema —el "sistema económico"— a una economía de sistemas, fusionada con esa biología de sistemas que es la ecología. Para ello, la contabilidad nacional centrada en el PIB tendría que perder el protagonismo absoluto que hoy tiene para permitir que las "cuentas satélite", que informan sobre las dimensiones físicas y sociales relacionadas con la gestión, mejoren y accedan a la categoría de verdaderos planetas, a la vez que se amplía y matiza la reflexión monetaria para reflejar bien toda la taxonomía del lucro. Además de desplazar la reflexión hacia el marco institucional que orienta el

proceso económico, con sus formas de lucro e intercambio apoyadas en convenciones sociales tan relevantes como son las formas de propiedad y de dinero.

Pero el problema no solo estriba en que la revolución científica que hemos venido planteando en economía desde hace tanto tiempo esté todavía lejos de triunfar, sino en que veo que a estas alturas sigue sin estar bien identificada incluso entre los críticos del statu quo que, más preocupados por las críticas internas formuladas asumiendo la noción usual de "sistema económico", han desatendido las críticas externas. En efecto, el libro Fundamentos para una economía ecológica y social de Clive Spash (2020), cuya publicación inauguró la colección Economía Inclusiva, refleja bien el mar de confusión reinante y pide una necesaria puesta en común del pensamiento crítico. Esta puesta en común requiere definir bien el conflicto entre el viejo y el nuevo paradigma y mostrar el carácter más inclusivo de este último para aunar filas en torno al mismo. En el libro de Spash este punto permanece oscuro, pero se aclara muy bien que la llamada economía heterodoxa o crítica está en buena parte nutrida por personas que comulgan con el viejo paradigma plasmado en la noción usual de "sistema económico" y que solo son críticos de determinadas políticas, corrientes o interpretaciones. Además, el libro describe como "el poder institucionalizado de la teoría convencional [se refiere sobre todo a la teoría neoclásica] ha jugado un papel importante al delimitar el campo de la investigación ambiental" (Spash, 2020: 50) además de marginar y desactivar asociaciones y revistas críticas: hay párrafos que explican bien cómo la orientación inicialmente más radical de la Sociedad Europea de Economía Ecológica y su revista Ecological Economics, que podría haber sido una buena plataforma para divulgar el nuevo paradigma ecointegrador, se fueron suavizando y desactivando a lo largo de su historia.

Dicho esto, parece claro que debemos subrayar bien que la revolución científica pendiente abre una brecha entre los que estamos poniendo en práctica el nuevo paradigma ecointegrador y trabajamos con enfoques abiertos, transdisciplinares y multidimensionales, y los que siguen comulgando con la noción hasta ahora usual de el "sistema económico". Como es evidente a raíz de lo hasta ahora dicho, en el mapa del conocimiento que

figura al final de Naredo (1985), las corrientes neoclásicas, keynesianas o marxistas aparecen como ramas de la economía estándar, porque suscriben el núcleo teórico duro que configura la noción usual de el "sistema económico" construido sobre la metáfora absoluta de la producción y sus derivados, ejerciendo solo críticas internas al mismo sobre el modo de gestionarlo. El marxismo, al centrar la atención exclusivamente en las críticas internas formuladas en el marco de la noción usual de "sistema económico", asumiendo las categorías básicas de la economía política, ha contribuido a divulgarlas y a desactivar las críticas externas, dada su hegemonía sobre las corrientes críticas. El Anexo que sigue trata de aclarar este punto.

Espero que, tras este aniversario y pasados ya siete lustros desde que presenté el texto "La crisis actual de la ciencia económica y las revoluciones científicas" (Naredo, 1985), decaigan viejos dogmatismos grupusculares y se identifique mejor la revolución científica pendiente en economía, generándose un contexto más propicio para hacer que la puesta en común propuesta por Spash se consolide en torno al paradigma ecointegrador emergente. Pues subrayemos que el enfoque ecointegrador no trata de sustituir un reduccionismo por otro[21], sino de encajar la reflexión de los valores monetarios propia del enfoque económico ordinario en un contexto más amplio y enriquecedor que potenciaría las críticas internas formuladas en el marco de la noción usual de "sistema económico" (detalladas en Naredo, 1985) e incluso la propia reflexión monetaria[22]. Se trata, en suma, de ampliar y desplazar la reflexión económica desde el "sistema económico" hacia una economía de sistemas y desde el PIB hacia una taxonomía del lucro.

Anexo Sobre las responsabilidades del marxismo

y el colapso del 'socialismo real' en el actual impasse político e ideológico

Nicholas Georgescu-Roegen: sobre Marx, las elites y el cambio

social

Como nos recuerda Erich Fromm, “mientras para los antiguos griegos la historia no tenía finalidad ni objeto, el concepto judeo-cristiano de la historia se caracterizó por la idea de que su sentido inmanente era la salvación humana […] la idea mesiánica encontró nueva expresión en nombre de la razón y de la felicidad, de la dignidad y la libertad humanas” (Fromm, 1979: 195).

Así, pensadores francófonos como Condorcet, Saint-Simon, Comte y Proudhon, y el enardecido ánimo que suscitó la Revolución francesa, consiguieron traducir el antiguo fervor mesiánico religioso en un lenguaje profano. Y, también, como constata Fromm:

En la filosofía alemana de la Ilustración tuvo lugar la misma traducción, en lenguaje profano, del concepto teológico de la salvación […] Para Lessing, el futuro iba a ser la era de la razón y la autorrealización humana, que se efectuaría por la educación, cumpliéndose así la promesa de la revelación cristiana. Fichte creía en el advenimiento de un milenio espiritual, Hegel en la realización del reino de Dios en la historia, traduciendo así la teología cristiana en filosofía profana. La filosofía de Hegel encontró su continuidad histórica más importante en Marx. El pensamiento de Marx es mesiánico-religioso en lenguaje secular quizás más claramente que el de muchos otros filósofos de la Ilustración. Todo el pasado histórico no es más que “prehistoria”, es la historia de la enajenación; con el socialismo se introducirá el reino de la historia humana, de la libertad humana. La sociedad sin clases gobernada por la justicia, la fraternidad y la razón será el comienzo de un mundo nuevo, hacia cuya formación se encaminaba toda la historia anterior (Fromm, 1979: 197).

Esta impronta mesiánico-religiosa es la que hizo que el marxismo fuera por lo común objeto de rotundas adhesiones y rechazos globales, como ocurre en general con las creencias religiosas.

Anticipo que, para mí —creo que al igual que para Nicholas Georgescu-Roegen— Marx es, sin más, uno de mis autores de cabecera con el que acostumbro dialogar libremente coincidiendo o disintiendo sin problemas.

Nicholas Georgescu-Roegen fue consciente de este contenido mesiánico-religioso que explica a la vez la fuerza y la debilidad del marxismo:

El dogma marxista en su forma amplia ha sido fuertemente aclamado como una religión. En un aspecto la idea es correcta. Al igual que todas las religiones, el dogma proclama que hay un estado eterno de felicidad en el futuro del hombre. La única diferencia es que el marxismo promete tal estado aquí, en la Tierra: una vez que los "medios de producción" estén socializados por el advenimiento del comunismo, eso será el fin de todo cambio social […] [pero matiza que] al contrario que Marx, considero que el conflicto social no puede eliminarse ni por decisión del hombre, ni por la evolución de la humanidad (Georgescu-Roegen, 1996: 380).

Y ello se debe a que, como más adelante advierte agudamente:

La socialización de los medios de producción tampoco garantiza implícitamente —como afirmó Marx— una solución racional al conflicto distributivo […] el hecho es que la propiedad colectiva de los medios de producción es, muy probablemente, el único sistema compatible con cualquier modelo distributivo [la cursiva es del original]. Un ejemplo deslumbrante lo proporciona el feudalismo, pues no hemos de olvidar que la tierra solamente pasó a ser propiedad privada con la disolución de los estados feudales [mostrando] que la "propiedad social de los medios de producción" es compatible con que algunos individuos tengan una renta que a todos los efectos prácticos es ilimitada (Georgescu-Roegen, 1996: 382-308).

Finalmente, Nicholas Georgescu-Roegen amplía y actualiza estas reflexiones sobre el cambio social recordando que

Pareto explicó cómo toda elite es derrocada por una celosa minoría que agita a las masas denunciando los abusos de la clase dirigente y finalmente la sustituye. Las elites, como dijo, circulan […] Las implicaciones económicas de los abusos inherentes a una elite llamaron la atención de Adam Smith, quien con su meticulosidad característica describió los que predominaban en su propia época. Posteriormente, en el Manifiesto comunista, Marx y Engels fueron aún más lejos y admitieron que todos los movimientos sociales hasta entonces (1848) se habían llevado a cabo por minorías en provecho de minorías. Ellos, naturalmente, creían y predicaban que la revolución comunista iba a ser una excepción a esta regla. Ya sabemos que no es así: una nueva clase privilegiada está cristalizando continuamente en todo régimen comunista [aquí hace referencia a (Djilas, 1957), concluyendo que] la historia no ha refutado aún la tesis de Pareto de la eterna circulación de las elites" (Georgescu-Roegen, 1996: 384-386).

Estas reflexiones que Nicholas Georgescu-Roegen hizo en 1971 se vieron reconfirmadas veinte años después con la disolución de la Unión Soviética en 1991. Paradójicamente, tras haber repuntado con la revolución rusa las expectativas revolucionarias durante el siglo XX, se desmoronaron a finales del mismo. Y lo curioso es que se desmoronaron internamente, sin grandes enfrentamientos entre socialismo y capitalismo, ya que fue la poderosa nomenklatura soviética la que decidió disolver el socialismo para hacerse con las propiedades del Estado. Y a la implosión de la antigua Unión Soviética se añadieron el desmembramiento del "bloque socialista" y el giro capitalista que emprendió el régimen chino, que dejaron atrás la "guerra fría" y el antiguo mundo bipolar, saliendo reforzado el único polo superviviente. Así, se acabó imponiendo, ya sin trabas, el dominio económico e ideológico del mundo anglosajón capitalista, con su vulgata formalmente democrática y liberal. La

crisis del “socialismo real” dejó el camino expedito a las oligarquías del “capitalismo real” para acometer ya sin tapujos nuevas formas de enriquecimiento, desatando la ola de privatización-mercantilización-financiarización y desmantelamiento del “Estado de bienestar” de todos conocida.

Entre las causas de la crisis del “socialismo real”, destaca sin duda la fuerte presión externa orientada a desestabilizar y someter a esos países que se decían socialistas y/o comunistas a los dictados del capitalismo transnacional. Pero también resalta la inconsistencia de unos supuestos movimientos liberadores que se mostraron generalmente tributarios de la ideología económica dominante, presidida por la metáfora de la producción y el mito del crecimiento, desestimando los problemas ecológicos y que, en lo político, no pretendieron establecer verdaderos Estados de derecho que promovieran la participación y el control ciudadano en las tareas de gobierno y garantizaran las libertades individuales, de forma que cuando los nuevos jerarcas mudaron hacia el capitalismo, esos países mantuvieron su condición de Estados de derecho fallidos, en los que la discrecionalidad del poder y el despotismo corrupto con apariencia democrática reinó con más fuerza y descaro que en las antiguas metrópolis del capitalismo; es decir, que la dirección centralizada y coercitiva del cambio social no arrojó la mejoría esperada. Cosa que resultó difícil de digerir para la militancia y la intelectualidad calificada de progresista y/o de izquierdas, que venía idealizando y avalando la marcha del “socialismo real” frente al “capitalismo real”. La natural inercia ideológica y grupal hizo que esta militancia quedara de una u otra manera anclada a viejos esquemas e idolatrías, perdiendo iniciativa en la formulación de alternativas ilusionantes frente a la actual crisis de civilización. Por una parte, el hecho de que se haya extendido el prefijo pos- para hablar de poscapitalismo, refleja el descrédito de las palabras socialismo y comunismo antes utilizadas para designar los sistemas sociales que se suponía estaban llamados a suceder al capitalismo: la pérdida de fe en que las ruedas de la historia nos llevarían inequívocamente hacia los sistemas así denominados es la que indujo a hablar simplemente de poscapitalismo, evidenciando la falta de alternativas claras. El libro Poscapitalismo (Mason, 2016) es un claro exponente de esta tendencia, augurando banalmente, con el apoyo de las “nuevas

tecnologías", finales felices bien acogidos por el público y divulgados por el poder, a la vez que alimenta las ilusiones igualitarias de la izquierda por obra y gracia de las fuerzas democratizadoras de internet. Por otra parte, el lamentable giro autoritario del "socialismo real" ha permitido que la derecha se beneficie impunemente de las connotaciones positivas que durante siglos se han venido asociando a la palabra liberal y que pueda presentarse ahora sin complejos como la verdadera defensora de la libertad, frente a supuestos socialismos o comunismos que la niegan. Resulta sorprendente que en nuestro país se haya podido invertir la situación respecto a lo que ocurría durante el franquismo y que, desde la "operación liberal" de Fraga, cuele impunemente que la antigua derecha conservadora franquista pase a presentarse como defensora de la libertad frente a oposiciones tildadas despectivamente de socialistas y comunistas. La campaña ganadora de la candidata del PP, Isabel Díaz Ayuso, en las elecciones de 2021 a la presidencia de la Comunidad de Madrid, erigiéndose en defensora de la libertad frente a supuestos socialismos y comunismos, culmina esta tendencia.

La actual crisis de civilización no acaba de apuntar, así, hacia horizontes sociales y ecológicos saludables, a la vez que se extienden el desánimo y el "sálvese quien pueda" individual que suele proliferar en las sociedades jerárquicas en descomposición. Este impasse sociopolítico viene asociado a otro ideológico, marcado por la perplejidad y el desasosiego que ocasionó en numerosos militantes e intelectuales, tiempo atrás calificados de progresistas, el desmoronamiento del "socialismo real" y sus prometedores atajos revolucionarios, unido al desbocado avance de un capitalismo tan descarnado y con secuelas tan negativas, que hasta hace poco venía siendo objeto de impugnación generalizada.

Creo que ya va siendo hora de asumir que la experiencia histórica muestra que las tomas del poder violentas que resultan del enconamiento de conflictos, que derivan a veces en guerras civiles y/o golpes de Estado de uno u otro signo, generan regímenes despóticos y represivos, teatro de abusos e indignidades, y no Estados de derecho en los que pueda florecer una ciudadanía libre y responsable. La búsqueda de metas inclusivas es así fundamental para que el nuevo paradigma sociocultural más saludable pueda

prosperar. Lo importante es que estas metas, por muy modestas que sean, apunten a reforzar el nuevo paradigma y no solo a apuntalar el antiguo. Esta distinción entre medidas conservadoras del statu quo y aquellas otras que apuntan en el sentido que marca el nuevo paradigma es fundamental para superar la hipotética dicotomía entre reformismo (malo) y revolución (buena) usualmente enarbolada por la izquierda. Creo que los logros del movimiento feminista aportan un buen ejemplo de cómo se pueden cambiar las ideas, las normas y los comportamientos sin partidos políticos ni violentas tomas del poder que los defiendan. Los logros del movimiento ecologista deberían de apuntar también en este sentido inclusivo que trasciende las ópticas partidistas.

Valga decir por el momento que la formulación de alternativas que mejoren la actual crisis de civilización pasa por reconocer que el banco de pruebas de la historia ha venido poniendo en entredicho las teodiceas simplistas que veían el cambio social revolucionario como un fruto automático de la lucha de clases y esperaban que dicho cambio espolearía el "desarrollo de las fuerzas productivas" y la emancipación social, originando sociedades de la abundancia más libres, igualitarias y cohesionadas. Hoy día se ha visto que, al centrar la atención en la lucha de clases, estas teodiceas soslayaron los otros mecanismos de dominación que sostienen las sociedades jerárquicas.

La interpretación de la historia como una sucesión de 'modos de producción' o como un solapamiento de 'modos de dominación'

Marx no solo asumió la metáfora absoluta de la producción, sino que contribuyó a divulgarla y encumbrarla al presentar las "fuerzas productivas" como "motor de la historia". Como advierten los propios manuales divulgadores del marxismo, el pensamiento de Marx se apoyó en la dialéctica hegeliana y en las categorías de la economía política. Y al aceptar y divulgar como algo universal el

aparato conceptual de la economía política, con la metáfora de la producción y la mitología del crecimiento (de esa hipotética y domesticada producción) a la cabeza, el marxismo ha ejercido como caballo de Troya para introducir dicha ideología en el seno de las corrientes y movimientos críticos, con los consiguientes análisis simplistas del cambio social. Análisis que entronizaban el desarrollo de hipotéticas fuerzas productivas como motor inequívoco de progreso y la lucha de clases, atizada y orientada con el fervor revolucionario-partidista, como las palancas del cambio social que dirigirían ese progreso hacia horizontes socialistas y comunistas en los que se harían realidad las promesas de abundancia, libertad e igualdad, manteniendo así la fe en la evolución lineal y progresiva de la historia. Aunque, como hemos visto, la historia ha refutado estos enfoques simplistas, el problema es que buena parte del aparato conceptual y emocional que les dio vida sigue en pie, sin que se haya sometido a reflexión para ver si sirve bien para caracterizar y cambiar la sociedad actual, dificultando la emergencia de enfoques, planteamientos y discursos críticos verdaderamente alternativos más sugerentes y atractivos para la mayoría.

La evidencia de las relaciones de dominación y de explotación de la mayoría desposeída, tan analizadas y subrayadas por Marx utilizando el aparato conceptual de la economía política, explica bien por qué tal mayoría debería rebelarse. Pero también, y sobre todo, induce a preguntarnos por qué, pese a tal evidencia, los desposeídos no suelen rebelarse. Responder a esta pregunta es capital para calibrar las posibilidades de cambio social. Y para ello tendríamos que aparcar los atajos y las teodiceas al uso que venían prometiendo el cambio social y retomar las reflexiones sobre la servidumbre voluntaria, rememorando el título del antiguo texto de La Boétie (1576) en el que investiga por qué, aunque haya —según dice— "episodios gloriosos en los que la libertad triunfó sobre la dominación", lo que predomina es "la servidumbre sin necesidad de recurrir a la fuerza". Si llamo la atención sobre este texto no es para tomarlo como sagrado, pensando que puede contener explicaciones y respuestas a todos los problemas actuales y futuros —como suele hacerse con ciertos pensadores idolatrados—, sino como punto de partida sugerente hacia una reflexión abierta para abordar el actual impasse de lo político. Valga insistir, en la misma línea que La

Boétie, que el problema parte de que se suele identificar el poder con la coerción y la opresión ignorando que

[…] el poder no tiene por qué asumir la forma de una coerción. Lo que atestigua que el hecho de que se forje una voluntad adversa a la del soberano evidencia justo la debilidad de su poder […] se ignora que la forma superior de poder es la que se da cuando el súbdito quiere expresamente, por sí mismo, lo que quiere el soberano, es decir, cuando el súbdito obedece la voluntad del soberano como si fuera la suya propia e incluso la anticipa". [En resumidas cuentas] cuanto más poderoso es el poder con más sigilo opera (Han, 2016: 11-13).

Y, como advierte Byung-Chul Han, la forma más sigilosa de poder es la que predomina en la sociedad actual, a la vez que ha ido perdiendo terreno la coerción violenta apoyada en castigos físicos con mutilaciones, torturas y ejecuciones (Han, 2018). De ahí que, en lo económico, la explotación del otro haya derivado hacia la autoexplotación, plasmada en la multiplicación de "falsos autónomos". Pues, "a partir de cierto nivel […] la autoexplotación es mucho más eficiente que la explotación del otro, porque va aparejada con el sentimiento de libertad del explotado" (Han, 2018: 21). En este sentido, también habría que subrayar que el llamado tiempo libre está cada vez más plagado de tareas que las empresas, administraciones o familias han venido cargando sobre la servidumbre voluntaria y gratuita de las personas, dando lugar a eso que Illich llamó "trabajo sombra" (Illich, 1981) y mostrando hasta qué punto el mismo "ocio" está sometido a los dictados de la "sociedad de consumo".

La manera de visibilizar estas servidumbres y tareas que ocultan los enfoques económicos dominantes de la producción y del trabajo pasa por estudiar el tiempo destinado a cada una de ellas, así como la utilidad social o el sentimiento y la motivación individual de quienes las ejercen (viendo hasta qué punto son socialmente útiles, obligadas o libres, penosas o placenteras, etc.). Es decir, que para ello habría que trascender las categorías de producción, consumo y

trabajo que define la noción usual de sistema económico, para revisar lo que incluyen y lo que excluyen. Pues, al igual que la noción de producción genera un medioambiente físico no estudiado, la noción de trabajo genera también un medioambiente social no estudiado que hay que abordar utilizando enfoques apropiados que contribuyan a explicar la extensión y la estabilidad que alcanza la servidumbre voluntaria en la sociedad actual.

En suma que "trascender el capitalismo" exige trascender la ideología dominante con la que, en parte, han venido comulgando las corrientes críticas, al definir el mismo capitalismo como un sistema económico que se caracteriza por la propiedad privada de "los medios de producción" y al interpretar la historia como una sucesión de modos de producción que van desde el esclavismo, la servidumbre y el capitalismo, hasta el socialismo y el comunismo, lo que supone una simplificación extrema dominada además por la metáfora absoluta de la producción. Porque más que interpretar la historia como la sucesión de modos de producción, cabría mejor hacerlo como la evolución de modos de dominación y/o de adquisición de riqueza que, lejos de sucederse, han venido mudando y solapándose. Por ejemplo, el clientelismo, que caracterizaba las relaciones de dominación vigentes en la antigua Roma, mudó hacia nuevas formas de clientelismo político asociado a los partidos de masas en el mundo contemporáneo, que han venido premiando la adhesión y la obediencia y penalizando la disidencia, tanto en la dictadura como en la democracia, tanto en la derecha como en la izquierda, con ejemplos más o menos extremos que alcanzan desde los regímenes totalitarios fascistas y nazis y el estalinismo, hasta las democracias occidentales de hoy día. A la vez que al abrazar la metáfora de la producción e idolatrar el crecimiento de "las fuerzas productivas" como base de un determinismo histórico que apuntaba inequívocamente hacia el progreso, se han venido soslayando los daños ecológicos y sociales que ocasionaba el desarrollo de las fuerzas destructivas y disciplinarias asociadas al funcionamiento de la potente maquinaria económica y militar sobre la que se han venido asentando las sociedades jerárquicas, tanto dictatoriales como democráticas. El afán de interpretar la historia como una sucesión de "modos de producción" eclipsó, así, la efectiva evolución de toda una serie de modos de dominación que, lejos de sucederse, mudaban y se solapaban entre sí, como acabamos de

indicar con el clientelismo, y como podríamos ejemplificar con el racismo, el machismo o la dependencia económica. Todo lo cual plantea dudas sobre si podemos definir bien la sociedad actual con un término tan simple como el capitalismo, cuando se solapan varios modos de dominación y explotación. Este solapamiento aflora cuando se habla de capitalismo clientelar —como reza el título del libro de un colectivo de juristas firmado con el pseudónimo del personaje cervantino Sansón Carrasco (Carrasco, 2017)— o de capitalismo monopolista —como subrayaba el clásico libro de Sweezy y Baran (1966)—, resaltando en ambos casos las relaciones entre poder político y económico para facilitar negocios mutuos en detrimento de la mayoría; libros que corrigen la querencia a naturalizar el capitalismo, identificando sociedades capitalistas con sociedades de mercado y confundiendo mercado con intercambio en general.

En el libro citado sobre el capitalismo clientelar (crony capitalism) figura un gráfico (Carrasco, 2017: 26) que refleja su peso en distintos países, mostrando que la presencia de este solapamiento es general. Nos encontramos así con que las relaciones clientelares, tan extendidas y normalizadas en el antiguo imperio romano, perduran hoy bajo nuevas formas de clientelismo asociado a esas organizaciones jerárquicas que son las empresas y los partidos políticos, aunque en unos países su peso sea mucho más determinante que en otros. En efecto, en el gráfico mencionado Rusia lidera los países en los que las relaciones clientelares son más determinantes en la formación y distribución de los ingresos. En estos casos, cabe preguntarse si, en vez de definir su sistema como capitalismo clientelar, no sería mejor hacerlo como clientelismo capitalista. Esta definición explicaría mejor cómo Rusia, a la que le costó tanto esfuerzo revolucionario pasar del capitalismo al socialismo, pudo revertir la situación sin especial violencia contrarrevolucionaria: la explicación estriba en que en realidad no pasó tanto del socialismo al capitalismo —sistemas sociales que se suponen antagónicos—, sino de un clientelismo socialista a un clientelismo capitalista. Pues la autodisolución de la URSS por sus propios dirigentes permitió la reconversión social de una casta político-administrativa privilegiada en clase propietaria, mudando así el tipo de clientelismo imperante. A lo que se añade un entramado histórico-cultural singularmente propicio, que no cabe

detallar aquí, como es la tradicional fusión de Iglesia y Estado o de creencias religioso-patrióticas y poder político paternalista, que explican las inercias y vaivenes del régimen autocrático en Rusia desde su misma fundación como Estado.

La noción de 'fuerzas productivas' y la cuestión de la energía

"¿Qué posición adopta el marxismo —o, al menos, los fundamentos de este sistema de pensamiento— frente a la cuestión de la energía? ¿Cómo es que los partidos que beben en las fuentes del "marxismo" no adoptan una posición de principio frente al hecho nuclear y comulgan, más o menos, en este punto con los designios del poder establecido? ¿Se puede achacar esto a una deformación de la "doctrina" o es que desde sus orígenes esta no ofrecía otra cosa?". Hace ya más de 40 años estas preguntas fueron respondidas de una manera solvente mediante la aclaración de los planteamientos de Marx y Engels sobre el tema de la energía en el artículo que escribí con Juan Martinez Alier sobre "La noción de fuerzas productivas y la cuestión de la energía" (Naredo y Martínez-Alier, 1979)[23].

En el artículo mencionado se constata que Marx y Engels utilizan como punto de partida de sus análisis económicos ese cajón de sastre de la "producción" propio de la economía ordinaria, que otorga un tratamiento indiferenciado a las actividades que engloba, pese a que a veces responderían mejor a los vocablos de extracción, adquisición o destrucción. Así, al tomar este aparato conceptual, que hace abstracción del contenido físico de los procesos con tal de que "creen valor", como base de su análisis económico, es lógico que Marx y Engels no se interesaran en hacer un enjuiciamiento del proceso económico en términos energéticos, en tanto que este constituía un elemento alógeno a su sistema y podía arrojar resultados no asimilables dentro de él. El empleo reiterado que Marx hace del término producción material, o producción de riqueza material para referirse a lo que sería más propio calificar de configuración, elaboración o transformación de materiales preexistentes para darles forma útil, será fuente de confusión al encubrir la ruptura epistemológica posfisiocrática que Marx y

Engels contribuyeron a afianzar, separando el análisis de los fenómenos incluidos bajo la denominación de lo económico, del contexto físico en el que se desenvuelven. No es cosa de insistir ahora en que esta separación entre lo económico y lo físico, entre la economía y el estudio de los procesos físicos, esencial en el marxismo. Separación que Marx y Engels explicitan en sus críticas a la obra de los fisiócratas o al empeño posterior de Podolinski de enjuiciar la gestión de recursos y la teoría del valor-trabajo a partir del análisis energético. Críticas que se basan precisamente en desautorizar a los fisiócratas porque consideran el valor como "algo que se compone de materia y que sigue las vicisitudes de esta" o en inculpar a Podolinski del delito de "mezclar lo físico con lo económico", concluyendo Engels en su correspondencia a Marx sobre este punto que "a mi modo de ver, es totalmente imposible expresar relaciones económicas en medidas físicas", cuando, como ha señalado Nicholas Georgescu-Roegen, el proceso económico, lejos de ser independiente del medio físico y biológico que lo rodea, encuentra como origen y soporte la apropiación de energía o materia de baja entropía y su degradación o transformación en desperdicios de alta entropía. Una degradación que solo encuentra como justificación el que contribuya efectivamente a mantener y enriquecer la vida humana.

Sin embargo, en el artículo mencionado advertimos que "no debe colegirse que este afán de separar el mundo económico del mundo de la materia y la energía entrañara un desinterés de Marx y Engels por las ciencias de la naturaleza. Sino que estos, manteniéndose perfectamente informados de los descubrimientos que tenían lugar en estas ciencias, saludaban aquellos que se ajustaban a la lógica de su propio sistema y los adaptaban a sus conveniencias, despreciando aquellos otros que les resultaban incómodos" (Naredo y Martinez-Alier, 1979: 73).

Así como se constata en el artículo citado, Marx y Engels saludaron con entusiasmo la teoría de la evolución de Darwin, aunque les incomodó que no señalara con claridad que esta evolución apuntaba necesariamente hacia el "progreso". Y saludaron también efusivamente el primer principio de la termodinámica, como principio de conservación y transformación de la energía, pero apenas existen referencias suyas al segundo principio ya formulado

elementalmente por Carnot, en 1824, y por Clausius, en 1850. En las notas escritas por Engels en 1875 y publicadas en la Dialéctica de la naturaleza se niega a reconocer la validez de este principio que reduce al absurdo al oponerlo al principio de la conservación de la energía dentro de una visión mecanicista del universo: partiendo de esta concepción que representa al universo como un gran mecanismo de relojería, Engels concluye que la aceptación del segundo principio de la termodinámica presupone la existencia del divino relojero que le dé cuerda y mantiene como salida la creencia en el movimiento perpetuo de segunda especie[24].

Las posiciones señaladas de Engels resultan comprensibles cuando, en su época, el segundo principio de la termodinámica resultaba todavía algo novedoso y extraño al universo newtoniano, a su formulación del sistema económico y contradictorio, ciertamente, con la creencia en el progreso. No en vano, como nos recuerda Antonio Machado en su Juan de Mairena (Machado, 1971: 247), "contra los progresistas y su ingenua fe en un mañana mejor descubrió Carnot la segunda ley de la termodinámica". Pero lo que ya resulta más insólito es que cien años después de que Engels se equivocara en sus notas de lectura, la ortodoxia marxista siguiera defendiendo públicamente sus errores. Así, como constatamos en el artículo citado, en el prólogo a una edición en castellano de la Dialéctica de la naturaleza (Engels, 1961, con prólogo de Wenceslao Roces) se insiste en que el segundo principio de la termodinámica es una teoría "seudocientífica, desorientadora y desalentadora" a la que Engels sometió a una crítica "demoledora", demostrando que "era de todo punto incompatible con una certera interpretación de la ley de conservación y transformación de la energía" y señalando, para colmo, que "el curso ulterior de la ciencia ha venido a patentizar que Engels tenía razón" (Roces, 1961: XVI-XVII). El hecho de que en otra edición en alemán más reciente de las obras de Marx y Engels (1971, vol. 20) se viertan ideas similares en el prefacio, muestra que difícilmente puedan achacarse a una postura accidental del prologuista, sino a razones de fondo compartidas por la ortodoxia marxista. Como también parece ya una broma que 150 años después se presente a Engels como padre fundador del ecologismo y pionero del Antropoceno (cf. Bellamy Foster, 2020) soslayando los "pequeños detalles" arriba mencionados, documentados desde hace tiempo. Porque quizás con algo más de

razón y humor podríamos presentar a Platón como padre defensor de los derechos del colectivo LGTBIQ+, o como formulador pionero de la hipótesis Gaia, al presentar en su Timeo la Tierra como un gran organismo. Esta persistencia en salvar a toda costa en bloque la copiosa obra de los fundadores del marxismo confirma que, tras su envoltura científica, el sistema de pensamiento de Marx y Engels, con su visión antropocéntrica del mundo reforzada por la creencia en el progreso continuo de la humanidad y por el respeto beato e indiscriminado hacia la ciencia, la técnica y et trabajo, vino a constituir para muchos un nuevo evangelio sustitutivo de las antiguas religiones y ritos.

De todos modos, este tipo de críticas al segundo principio no podía mantenerse abierta y seriamente en la medida en que tanto la termodinámica —con su ley de la entropía— como la teoría de la relatividad y la teoría cuántica —que Marx y Engels no llegaron a conocer, pero que también fueron criticadas por la ortodoxia marxista (cf. Naredo, 1987: 244-245)— aportan hoy el aparato teórico y conceptual con el que se orienta la investigación en la física moderna. Una vez puesto en cuestión el sistema newtoniano como la representación genuina de la realidad física en toda su globalidad y abandonada su epistemología como única guía fiable para la búsqueda de lo desconocido, el conflicto se hace patente cuando se intenta salvar a toda costa una filosofía "materialista" que se había construido sobre aquel sistema que aparecía asociado a una visión del mundo. Y el caso de Engels no es una excepción, pues como comenta Paul Feyerabend, con la crisis del dogma mecanicista:

muchos científicos para los que el realismo era una visión del mundo y no una hipótesis, se encontraron en una situación algo paradójica. Por una parte querían seguir siendo científicos, lo que quiere decir que eran propensos a considerar el realismo como una hipótesis. Por otra tenían un fuerte prejuicio realista […] ¿Qué quiere decir esto? Que hay una visión del mundo en alguna parte, que de presentarse en todo su esplendor no aparecería muy científica y que está por lo tanto oculta. Está oculta, sí, pero desde su escondite afecta todavía al debate a través de insinuaciones,

divisas y actitudes. La mayor parte de los argumentos sobre el realismo tienen este carácter truncado. Para completarlos tenemos que revelar la visión del mundo subyacente y su relación con la hipótesis realista (Feyerabend, 2001: 205-206).

Como concluíamos en el artículo citado, “hemos querido simplemente exponer cómo los fundadores del ‘marxismo’, al separar el estudio de la economía del estudio de la naturaleza, al construir una ciencia sobre conceptos como ‘desarrollo de las fuerzas productivas’, ‘producción’, ‘valor-trabajo’, totalmente desconectados, voluntariamente desconectados, como claramente indican los comentarios de Engels, de los problemas energético-ecológicos que están por debajo de cualquier sistema económico, crearon o aceptaron unos artefactos ideológicos que, de un lado, han ayudado a que los marxistas participaran en la ideología del progreso contribuyendo a expandir el mito de crecimiento económico y, de otro lado, han permitido aplazar en los países llamados socialistas la lucha por la igualdad en la vana esperanza de que la continua ampliación de la esfera de la ‘producción’ desembocara en un comunismo de la abundancia” (Naredo y Martinez-Alier, 1979: 89).

Actualidad del pensamiento de Georgescu-Roegen.

La bioeconomía cincuenta años después de la publicación

de La ley de la entropía y el proceso económico*[25]

Mauro Bonaiuti

Cincuenta años después de la publicación de The Entropy Law and the Economic Process (1971), las vicisitudes y el estatus científico de la teoría bioeconómica de Georgescu-Roegen son complejos de evaluar. Según el punto de vista, esa teoría puede considerarse una contribución audaz pero esencialmente infructuosa, un conjunto de ideas teóricas originales que luego se fundieron en vertientes disciplinarias especializadas (bioeconomía, economía ecológica) o una contribución fundamental a la base de un nuevo paradigma (económico, antropológico, de la civilización). Sin pretender ser sistemático, este ensayo intenta identificar algunos nodos temáticos que, cinco décadas después, hacen que la contribución de Georgescu-Roegen siga estando viva y siendo estimulante.

La bioeconomía robada

Hoy en día un debate sobre la bioeconomía debe partir de un hecho incontrovertible. En los últimos diez años, sobre todo desde que la Unión Europea lanzó la Bioeconomy Strategy (2012), el uso del término bioeconomía y las iniciativas en torno a la nueva palabra de moda han crecido exponencialmente: cientos de conferencias, cumbres, miles de artículos, 100 millones de euros asignados por la UE al Bioeconomy action plan, que también vio la creación de una

asociación público-privada sobre bioindustrias. ¿Significa esto la aceptación, aunque tardía, del nuevo paradigma de la bioeconomía propuesto unas décadas antes por Georgescu-Roegen? Por supuesto que no.

Hay que decir de una vez que lo que ha ocurrido en torno a la bioeconomía en los últimos diez años tiene más que ver con el marketing que con el desarrollo del paradigma científico elaborado por Georgescu-Roegen. En otras palabras, lo que los expertos en marketing hacen normalmente para los detergentes o las pastas de dientes, es decir, apropiarse de una etiqueta (en este caso el prefijo bio, que en el imaginario colectivo es sinónimo de "natural" y, por tanto, de "bueno") y aplicarlo a un producto, se ha aplicado aquí a un término (economía) que ya está bastante desgastado en la percepción colectiva (especialmente después de la crisis de 2007-2008). Así es como la bioeconomía, vaciada de sus significados originales, fue reempaquetada y promovida como la receta definitiva en la que todos ganan (win-win), capaz de impulsar el crecimiento y garantizar la sostenibilidad ecológica. Por ello, para argumentar estas conclusiones y entender mejor en qué consistió esta operación, es necesario recordar algunas de las adquisiciones fundamentales de la teoría de la bioeconomía de Georgescu-Roegen y compararlas con los contenidos y objetivos de la bioeconomía tal y como se ha entendido desde el lanzamiento de la Bioeconomy strategy en 2012.

Bioeconomía y termodinámica

Aunque la primera formulación del segundo principio de la termodinámica se remonta a la segunda mitad del siglo XIX (Clausius, 1865), las implicaciones de este principio en el proceso económico no se comprendieron ni se abordaron durante más de un siglo, precisamente hasta que se publicó la Ley de la entropía y el proceso económico de Georgescu-Roegen en 1971[26] . En este "pozo de San Patricio"[27], como ha sido definido, Georgescu-Roegen da cuenta por fin de las extraordinarias implicaciones de la

termodinámica, tanto en la teoría como en la práctica económica, convirtiéndose en el punto de partida imprescindible para cualquier razonamiento que se mueva en la frontera entre los procesos biofísicos y los socioeconómicos[28] .

Esto lleva a tres conclusiones importantes para la economía: una teórica y dos prácticas (es decir, políticas).

La primera es que la representación circular del proceso económico que aparece al principio de todos los manuales de economía (en términos marxianos, el ciclo dinero-mercancía-dinero) —según el cual la demanda estimula la producción que, a su vez, proporciona los ingresos necesarios para alimentar una nueva demanda, en un proceso circular aparentemente capaz de reproducirse indefinidamente— debe ser sustituida por una representación evolutiva, en la que el proceso económico se oriente a lo largo de la flecha del tiempo.

En otras palabras —contrariamente a lo que implican tanto los defensores de la economía estándar como, como veremos, los de la "nueva bioeconomía" (Giampietro, 2019)— el proceso económico no es circular, sino entrópico, es decir, irreversible y disipativo.

La segunda conclusión es de carácter práctico y, por lo tanto, político, y se refiere a la cuestión crucial de los límites del crecimiento.

Estos límites están vinculados a la naturaleza entrópica del proceso económico: según la ley de la entropía, toda actividad de producción, movimiento, calefacción, refrigeración, iluminación, implica la degradación irreversible de una cierta cantidad de energía que, por lo tanto, ya no puede utilizarse al final del proceso. Dado que la biosfera es esencialmente un sistema cerrado (no intercambia materia con el medioambiente) y que el proceso económico se alimenta de una reserva finita de recursos dentro de la propia biosfera (esencialmente combustibles fósiles), se deduce que el objetivo fundamental del proceso económico —el crecimiento ilimitado de la producción (y de los ingresos)— choca con los límites fundamentales consagrados en las leyes de la termodinámica.

Estos se expresan concretamente en dos grandes tipos de fenómenos:

los límites relacionados con el agotamiento de los recursos energéticos (inputs) que alimentan el sistema económico-productivo y,

los problemas relacionados con los efectos disipativos en la producción y su absorción por la biosfera (sinks) (calentamiento global, diversas formas de contaminación, pérdida de biodiversidad, etc.).

Las pruebas empíricas acumuladas en los últimos cincuenta años confirman esencialmente las conclusiones originales de Georgescu-Roegen. Según un reciente estudio de la Universidad de Leeds[29], basado en los siete indicadores biofísicos que aparecen en la tabla, un país como Francia supera estos límites biofísicos en un 77% de media (82% los Estados Unidos, 74% Italia y Japón). Irónicamente, los datos muestran que la superación de los límites biofísicos comenzó en países como Francia aproximadamente en el mismo momento en que Georgescu-Roegen hacía sonar la alarma, llamando a una inversión inmediata del dogma incuestionable del crecimiento económico.

TABLA 1

INDICADOR BIOFÍSICO	Francia	Estados Unidos	Límite	Unidad per cápita
Emisiones de CO2	8,72	21,2	1,6	Toneladas de CO2 po
Fósforo	7,2	7	0,9	Kilogramos P por añ
Nitrógeno	87,4	59,1	8,9	Kilogramos N por añ
Agua azul	339	611	574	Metros cúbicos H2O
eHANPP	2,9	3,7	2,6	Toneladas C por año
Huella ecológica	4,2	6,8	1,7	Hectáreas globales (g
Huella material	22,8	27,2	7,2	Toneladas por año

La tercera consecuencia de orden práctico (y, por ende, político) tiene que ver con la disipación (y, por lo tanto, con la progresiva escasez) de los recursos materiales. Sin entrar aquí en el debate sobre lo que Georgescu-Roegen llamaba la "cuarta ley de la termodinámica" (Bonaiuti, 2011: 37), siempre insistió en que también la materia está sometida a un proceso de dispersión progresiva. Por lo tanto, la materia también importa (matters matters too, según su famoso eslogan), ya que, en última instancia, "el reciclaje completo es imposible" (Georgescu-Roegen, 2011: 127). De ello se desprende que el crecimiento económico conduce inevitablemente a una creciente escasez en la disponibilidad de materias primas y, en consecuencia, genera nuevos y continuos conflictos por la apropiación de estos recursos, como ha demostrado toda la corriente de investigación sobre la justicia medioambiental y el ecologismo de los pobres (Martinez-Alier, 2002 y 2012).

El hecho de que el cierre de los ciclos materiales esté sujeto a limitaciones se ve respaldado por varias investigaciones recientes que muestran cómo, tras varias décadas de políticas medioambientales ad hoc, la cuota porcentual de los flujos de materiales sujetos a reciclaje es actualmente de solo el 7 % del total (Haas, Krausmann, Wiedenhofer y Heinz, 2016)[30].

La bioeconomía según la UE

Aunque las nuevas definiciones de la bioeconomía son diferentes[31] (Bauer, 2018; Bugge et al., 2016; McCormick y Kautto, 2013, Vivien et al., 2019) la más citada, a la que nos referiremos aquí, es la de la UE: "The bioeconomy comprises those parts of the economy that use renewable biological resources from land and sea —such crops, forest, fish, animals and micro-organisms— to produce food, materials and energy" (European Commission, 2015)[32].

A primera vista, por lo tanto, esta definición no presenta ninguna contradicción particular con el enfoque bioeconómico de

Georgescu-Roegen, ya que no hace más que delimitar un "sector" particular del proceso económico, el que utiliza recursos de origen natural (bio-based). Sin embargo, si examinamos más detenidamente los objetivos que la UE atribuye a la bioeconomía, queda más claro en qué perspectiva estratégica y política encaja: "The Bioeconomy offers Europe a unique opportunity to address complex inter-connected challenges, while achieving economic growth"[33].

La estrategia global es, por ende, cerrar progresivamente los ciclos mediante el reciclaje de materias primas y secundarias y, por esta vía, sostener el crecimiento y crear empleo. Por lo tanto, la economía circular y la bioeconomía están estrechamente vinculadas hasta el punto de que, en la actualización de 2018 de la Bioeconomy Strategy (Comisión Europea, 2018), la UE se refiere explícitamente a la "sustainable Circular Bioeconomy".

Sin embargo, como coherentemente ha observado Mario Giampietro (2019), en la estela de la perspectiva de Georgescu-Roegen, la "bioeconomía circular" no es más que otro oxímoron, ya que, como hemos visto, el proceso económico es disipativo y no circular. Desde luego, cualquier plan de acción para cerrar los flujos de materiales y hacer así los procesos de producción más "circulares" es deseable. El punto fundamental, que los partidarios de la bioeconomía según la UE no reconocen, es que este proceso está en todo caso sujeto a límites sustanciales, y en todo caso no reactivará, sino que frenará, el crecimiento económico (Giampietro, 2019). Giampietro argumenta de forma rigurosa y coherente, a partir del modelo fondos flujos de Georgescu-Roegen y de los desarrollos posteriores de la teoría de las estructuras disipativas, esta conclusión que, como veremos, enlaza muy estrechamente con la teoría de los rendimientos decrecientes a la que nos referiremos en la sección 3 del presente trabajo.

En conclusión, nos encontramos con una narrativa que, en gran medida, ha permanecido sin cambios durante los últimos cincuenta años, a través de la cual se perpetúa la ilusión de que es posible respetar los límites biofísicos (sostenibilidad) y al mismo tiempo mantener o incluso reactivar el crecimiento económico. En este sentido, la bioeconomía circular no es más que el último "eslogan"

de una larga serie: green economy, crecimiento verde, crecimiento sostenible, green deal son solo algunos de los precedentes, consignas que encuentran sus raíces en la matriz de todos estos oxímoron: el "desarrollo sostenible". No es casualidad que, como muestra el análisis de la correspondencia (Bonaiuti, 2001 y 2011), ya en 1991 Georgescu-Roegen atacara con vehemencia este eslogan, que había sido lanzado unos años antes: "No cabe duda, el desarrollo sostenible es una de las recetas más tóxicas" (correspondencia con J. Berry: Bonaiuti, 2001 y 2011).

Pero, como nos enseñan los semiólogos y los publicistas, las palabras de moda con el tiempo se desgastan, sobre todo cuando la realidad se encarga de demostrar poco a poco que no funcionan y que, por tanto, hay que sustituirlas por otras nuevas. Una conclusión, esta última, que, dejando por supuesto la estrategia subyacente sin cambios, conecta inmediatamente con nuestro segundo punto.

Georgescu-Roegen como precursor del decrecimiento

Una segunda razón de la actualidad del pensamiento de Georgescu-Roegen radica en su reconocido papel como precursor del pensamiento del decrecimiento (Bonaiuti, 2017). A diferencia de mi amigo Jaques Grinevald, no me avergüenza considerar a Georgescu-Roegen como un precursor del decrecimiento. Por supuesto, hay elementos de novedad en la evolución del pensamiento que hacen ambigua la noción de precursor, como señala Grinevald, pero también elementos de continuidad. Y la continuidad entre el pensamiento de Georgescu-Roegen y el decrecimiento es tan evidente que difícilmente puede negarse. El hecho de que los primeros en hablar de decrecimiento se inspiraran directamente en Georgescu-Roegen y no en otros economistas ecológicos aún más conocidos es algo atestiguado por quienes vivieron esta transición de primera mano (Latouche, 2011; Bonaiuti, 2017). Sin embargo, la razón por la que lo hicieron y el grado de acierto de este tipo de operación cultural pueden ser objeto de una investigación más

profunda.

Las razones por las que los primeros en utilizar el eslogan del decrecimiento (Serge Latouche y el grupo francés en torno a la revista Silence, como Vincent Cheynet y Bruno Clementin) se referían directamente a Georgescu-Roegen son, en mi opinión, claras y coherentes con el pensamiento de Georgescu-Roegen. Buscaban una base científica reconocida y sólida que pusiera de manifiesto los límites ecológicos del crecimiento económico y la encontraron de forma natural en Georgescu-Roegen. Además, a diferencia de otros economistas ecológicos como Herman Daly o Robert Costanza, Georgescu-Roegen adoptó desde el principio una postura muy crítica con el paradigma del desarrollo sostenible. No creo, por lo tanto, que la apropiación del término decrecimiento (que Georgescu-Roegen utilizó solo ocasionalmente) por parte de Latouche y otros partidarios de esta perspectiva sea en absoluto comparable a la apropiación del término bioeconomía por parte de la UE que hemos comentado. A diferencia de estos últimos, de hecho, existe una innegable continuidad y coherencia entre las tesis de Georgescu-Roegen y las de los teóricos del decrecimiento (Bonaiuti, 2017; Latouche, 2007 y 2021).

¿Salir de la economía o fundar una 'nueva economía'?

En las más de cien páginas de introducción epistemológica a la Analytical Economics (1966) que luego se recogen ampliamente en The Entropy Law, Georgescu presenta un extraordinario conjunto de nuevas herramientas conceptuales (distinción aritmomorfismo/ dialéctica, escalamiento, residuo cualitativo, novelty, histéresis) que luego fueron desarrolladas por las ciencias de la complejidad (Maturana y Varela, 1987; Morin, 2008; Lane, 2009). El objetivo era liberar a la ciencia económica de su camisa de fuerza mecanicista y reconstruirla sobre la base de una nueva epistemología fundada en la termodinámica y la biología. Esta "nueva ciencia económica", cincuenta años después, sigue esperando a ser construida.

En mi opinión, no se puede argumentar que esta tarea haya sido cumplida por la economía ambiental neoclásica ni por la economía ecológica. De hecho, la economía ecológica, aunque ha aceptado algunos de los supuestos básicos de la bioeconomía (en particular, la relevancia económica del segundo principio de la termodinámica y la contradicción implícita en la sustainable growth) ha seguido siendo esencialmente una rama de la economía aplicada, cada vez más especializada (véase la evolución de la revista Ecological Economics), y ha fracasado por completo en la tarea de cuestionar los fundamentos de todo el edificio de la ciencia económica, como había intentado hacer Georgescu-Roegen a través del proyecto de la bioeconomía como "nueva economía"[34].

Este fracaso está sin duda relacionado con el poder abrumador que la ciencia económica mainstream ha asumido desde la década de los ochenta, los años del auge de las finanzas. Serge Latouche (2007) tiene razón cuando afirma que la ciencia económica se ha convertido en una religión que cumple muy bien su tarea de legitimación del sistema dominante. Lo que ha sucedido en los últimos treinta años, después de la muerte de Georgescu-Roegen, es paradójico: mientras que la economía de mercado global ha configurado cada vez más la antropología del hombre contemporáneo (acercándola paulatinamente a los supuestos abstractos del homo oeconomicus), la crisis del modelo económico dominante ha cuestionado cada vez menos estos supuestos (individualismo, maximización de la utilidad, racionalidad, naturalismo/universalismo). Abandonar esta religión y, por lo tanto, los supuestos antropológicos del homo oeconomicus, es lo que Latouche (2010) quiere decir con su deseo de "salir de la economía". Entonces, ¿debemos "salir de la economía" o más bien fundar una nueva ciencia económica?

Hay que reconocer que Georgescu-Roegen no fue tan lejos como Serge Latouche. Formado en los años de entreguerras, años en los que la ciencia aún parecía poder "cambiar positivamente el mundo" y viniendo de un país pobre como Rumanía, Georgescu-Roegen seguía creyendo que la ciencia económica tenía una finalidad ética, esencialmente la de mejorar las condiciones de vida de los más pobres, respetando los límites impuestos por la naturaleza. Para ello, era necesario fundar una "nueva ciencia económica" basada en

la biología y la termodinámica, en lugar de la abstracción matemática y la mecánica. Se trataba, en definitiva, del proyecto de la “bioeconomía”.

Sin embargo, la distancia entre estas dos posiciones no es, en mi opinión, insalvable. Aunque Georgescu-Roegen no desarrolló cuestiones antropológicas, estaba convencido de que las necesidades humanas, aunque fundadas en una base biológica común, podían satisfacerse de muchas maneras, y que la economía de mercado occidental era solo una de ellas. Con su conocimiento de las economías agrarias subdesarrolladas (como la de Rumanía), convalidado por sus experiencias de viaje en África y la India en la década de 1970, Georgescu-Roegen se convenció, por ejemplo, de que la aplicación de la lógica desarrollista era un desastre para las economías campesinas superpobladas del Sur global. De todas formas, estaba bien convencido de que el “desarrollo” era solo uno de los posibles “caminos” y precisamente el elegido por Occidente. Por eso considero que la bioeconomía de Georgescu-Roegen, a diferencia de la economía ambiental y ecológica, está abierta desde el principio a un cuestionamiento de los supuestos antropológicos del homo oeconomicus, empezando, por supuesto, por la creencia en el crecimiento y el desarrollo. Este tema, a saber, que no existe una esencia transhistórica de lo económico, sino que, por el contrario, las necesidades dictadas por la base biológica común pueden recibir innumerables respuestas posibles como expresión de diferentes culturas (pluriverso), es, en mi opinión, compatible con el enfoque bioeconómico de Georgescu-Roegen. Por supuesto, queda mucho trabajo por hacer y el campo está abierto, no solo a las recientes adquisiciones de la antropología, sino también a ese muy heterogéneo archipiélago de experiencias que el mundo de la economía informal, solidaria, alternativa, etc., ha sido capaz de plantear hasta ahora.

Tecnologías prometeicas y regímenes sociotécnicos:

el gran relato de la evolución humana

En los últimos años de su producción intelectual (1979-1991), Georgescu-Roegen amplía el alcance de la teoría bioeconómica más allá de las consecuencias teóricas y prácticas relacionadas con la segunda ley de la termodinámica. Su ambición es situar la bioeconomía dentro de un tejido narrativo más amplio, en el que la propia civilización industrial aparece como una fase de transición dentro de una "gran narrativa" (Serres, 2017), que aquí comienza con la aparición del género homo, hace unos dos millones de años (Dunbar, 2014). La idea de la que parte la Georgescu-Roegen es que, a partir de cierto momento de la evolución, el proceso de adaptación de nuestra especie a las condiciones del entorno natural se ha producido principalmente a través de una nueva modalidad, la creación de herramientas externas al cuerpo (exosomáticas), y ya no a través de los procesos de variación y selección internos a nuestro organismo que son típicos de la evolución biológica (endosomáticos). Desde su origen, la innovación exosomática (o tecnológica) ha mostrado, en comparación con la evolución biológica, unos ritmos extremadamente rápidos y una eficacia tal que la tecnología y sus transformaciones se han convertido en un elemento central para comprender la evolución socioeconómica y sus pasos fundamentales. Esta es, en definitiva, la especificidad bioeconómica y, como veremos, la escala típica de los procesos bioeconómicos.

En mi opinión, esta parte de su contribución es de gran interés. Hay que decir, en efecto, que en las últimas décadas ha surgido una extraordinaria cantidad de nuevas reflexiones y pruebas empíricas sobre el tema de la evolución de las sociedades humanas, procedentes en particular de la biología evolutiva, la antropología, la etología y los estudios sobre el metabolismo de los sistemas socioecológicos[35], pruebas y reconstrucciones que cruzan y confirman en parte las hipótesis planteadas en su momento por Georgescu-Roegen.

Para enmarcar el argumento, es bueno partir de un punto importante, que marca una vez más la alteridad de la bioeconomía con respecto a la teoría económica dominante. Según la teoría económica neoclásica, el progreso tecnológico avanza de forma continua y uniforme, mediante pequeños cambios incrementales (transición). Por el contrario, quizá la característica más llamativa

del enfoque bioeconómico de Georgescu-Roegen (que toma de su mentor Joseph Schumpeter) es que la innovación tecnológica procede de forma discontinua. Es decir, está marcado por la aparición de innovaciones que marcan el proceso evolutivo, dando lugar a nuevas fases (transformación). Por las razones que veremos en breve, Georgescu-Roegen define como "prometeicas" las tecnologías capaces de producir saltos de esta índole. Georgescu-Roegen define el concepto con precisión. Una tecnología, para ser definida como prometeica, debe poseer las siguientes características:

permitir una nueva transformación cualitativa de la energía (por ejemplo, de energía química a trabajo mecánico) y/o una nueva forma de gestionar/controlar el proceso[36];

dar lugar a una reacción en cadena (retroalimentación positiva) que no solo mantiene toda la estructura material implicada en el proceso de transformación, sino que también proporciona un excedente de energía disponible para otros procesos.

Aunque pueda parecer desconcertante a la luz del continuo flujo de innovaciones al que nos ha acostumbrado la sociedad industrial, para Georgescu-Roegen en la trayectoria evolutiva de nuestra especie solo tres innovaciones parecen satisfacer plenamente estas dos características: el control del fuego, la adopción de la agricultura y la conversión de la energía química en trabajo mecánico[37].

Hay una serie de consideraciones especialmente interesantes en relación con las tecnologías prometeicas que deberían abordarse de inmediato.

La primera está relacionada con el papel de la materia/energía en los procesos económicos y la transformación sociocultural. Está claro, de hecho, que la definición propuesta por Georgescu-Roegen atribuye un papel central a la energía y este es un punto que ha dado lugar a profundas controversias, todavía hoy en gran parte sin

resolver, en particular entre los antropólogos[38].

Podemos decir que, desde los orígenes de las ciencias arqueológicas y de la antropología, la energía ha desempeñado un papel secundario, si no marginal: generalmente se considera un aspecto particular de la tecnología, condicionado y desarrollado de forma diferente en contextos sociales y culturales específicos. Sin embargo, hay algunas excepciones importantes a este enfoque. En un influyente artículo escrito a principios de los años cuarenta, Leslie White (White, 1943) afirma claramente que la energía desempeña un papel crucial en la formación de las culturas. Al pensamiento de White se le puede acusar, en algunos aspectos, de reduccionismo[39], pero no podemos dejar de reconocerle el mérito de haber anticipado la tesis según la cual es el aumento de la energía disponible, lo que permite el paso de las formas más simples de organización social y cultural (las sociedades de cazadores-recolectores) a las más complejas (las civilizaciones agrícolas, primero, y las industriales, después).

Debemos ser extremadamente claros en un punto. Afirmar que la mayor disponibilidad de energía permite la transición de formas de organización social más simples a otras más complejas no significa atribuir un valor positivo a esta transición (como han hecho los antropólogos evolucionistas), ni tampoco creer, implícitamente o no, que la disponibilidad de energía determina las formas de organización social.

Por lo tanto, no hay reduccionismo energético en la perspectiva de Georgescu-Roegen, a diferencia de la de White. Como veremos, el advenimiento de una nueva tecnología prometeica abre una nueva frontera de posibilidades (gran transformación), pero no determina unívocamente sus características, aunque el salto de escala que esta tecnología trae consigo implica consecuencias relevantes (y no casuales) en la organización social. Volveremos sobre estos aspectos fundamentales en breve[40].

La segunda cuestión es que el descubrimiento de una nueva forma de transformar la energía no es suficiente para indicar la presencia de una nueva tecnología prometeica. Es necesario que la nueva transformación también sea capaz de dar lugar a un proceso de carácter autocatalítico —es decir, un proceso de retroalimentación

positiva, al final del cual el flujo de energía transformada es considerablemente mayor que el flujo utilizado en todo el proceso —. El uso de la máquina de vapor en las minas de carbón es un ejemplo que ilustra este tipo de proceso: enseguida se vio que la máquina de vapor (al liberar las minas del agua) permitía extraer más carbón, con lo que se podían construir nuevas máquinas de vapor para extraer aún más carbón... y así sucesivamente, dando lugar a un proceso de autocrecimiento, al final del cual queda una cierta cantidad de energía disponible para otros procesos (sobre todo de carácter económico-social).

Este segundo punto ayuda a aclarar, en primer lugar, por qué las tecnologías prometeicas son tan raras y potencialmente peligrosas. Como solía repetir Gregory Bateson (Bateson, 1976), si queremos comprender los orígenes de los desequilibrios de un sistema, debemos buscar primero los procesos de autocrecimiento que operan en él. Estos procesos, y en particular los más potentes como la combustión, son, de hecho, difíciles de controlar. Un rayo puede incendiar fácilmente un bosque entero, como pronto se dieron cuenta nuestros arcaicos antepasados, pero pasaron varios cientos de miles de años antes de que el hombre fuera capaz de "domesticar" el fuego, utilizándolo a diario. La dinamita y la pólvora nunca se utilizaron para mover barcos o coches, y aún no está claro si este será también el destino de las reacciones de fusión nuclear[41] .

Un último punto importante. Incluso cuando el hombre ha sido capaz de "domesticar" una nueva forma de transformar la energía, la relación entre la cantidad de energía disponible y la energía utilizada en la gestión del proceso no siempre ha sido ventajosa. Por ejemplo, la fusión nuclear fría puede considerarse una "receta factible" (la reacción es, de hecho, técnicamente factible), pero hasta la fecha no ha sido capaz de poner a disposición más energía de la que se utiliza en la reacción[42]. Este punto, ya claro para Georgescu-Roegen, se investigó posteriormente a través de un indicador, el EROI (Energy Return on Energy Invested), que mide la relación entre la energía obtenida y la energía utilizada. Siguiendo la terminología de Georgescu-Roegen, de todas las trasformaciones tecnológicamente viables (feasible recipes), solo unas pocas (las que, diríamos hoy, tienen un EROI > 1) son capaces de mantenerse

a sí mismas (Georgescu-Roegen las definió como “tecnologías viables”). Siguiendo esta terminología, podríamos llegar a decir que solo algunas de estas últimas, es decir, las que tienen un EROI significativamente mayor que 1, pueden definirse como prometeicas[43].

Así, por ejemplo, la conversión de energía lograda por las células fotovoltaicas, aunque es más eficiente hoy que en la época de la Georgescu-Roegen, muestra, según Hall (Hall et al., 2008), valores de EROI cercanos a 5, lo que es demasiado bajo para soportar una verdadera “gran transformación”. No olvidemos que cuando Estados Unidos alcanzó su máxima productividad, en plena revolución industrial en los años treinta, el carbón tenía un EROI de alrededor de 75.

Llegados a este punto, podemos sacar algunas conclusiones, que nos permiten comprender mejor el significado y la importancia, aún hoy, de la bioeconomía de Georgescu-Roegen, así como los desarrollos que pueden alcanzarse a partir de esta especie de “gran narrativa”.

Lo que caracteriza a una tecnología prometeica y la hace tan relevante desde el punto de vista económico-social es su capacidad de abrir una nueva fase expansiva de larga duración, al final de la cual el sistema se reorganiza en torno a un nuevo “régimen sociotécnico” (Geels, 2005; Haberl et al., 2011). Actualmente está bastante consolidada entre los antropólogos la idea de que los principales regímenes sociotécnicos que ha experimentado la humanidad son tres: el basado en la caza y la recolección (cazadores y recolectores), el basado en la agricultura y, por último, el que siguió a la revolución industrial. Por lo tanto, es posible formular la hipótesis de que la aparición de las tres tecnologías prometeicas identificadas por Georgescu-Roegen representó la condición necesaria para la aparición y afirmación de cada régimen. Esta hipótesis, formulada ahora por algunos investigadores (Hall et al., 2008), es muy interesante y abriría la bioeconomía a nuevos desarrollos.

Así pues, las innovaciones no son todas iguales, sino que solo algunas, muy pocas en realidad, permiten la transición a un nuevo régimen sociotécnico. Sin embargo, como hemos aclarado, en la

perspectiva bioeconómica, la aparición de una nueva tecnología prometeica no determina las formas que adoptará la nueva organización social. Un aumento de la cantidad de energía disponible conlleva, de hecho, un salto de escala que, a partir de cierto umbral, conduce a la ruptura de los equilibrios existentes y a la aparición de nuevas formas sociales e institucionales, imprevisibles a partir de las condiciones iniciales del proceso (por ejemplo, las burocracias religiosas, administrativas y militares parecen haber aparecido solo después de la afirmación de las sociedades basadas en la agricultura). Estas nuevas formas, inicialmente revolucionarias, se cerrarán posteriormente en torno a nuevos equilibrios (locked-in) o, incluso, a nuevos "regímenes sociotécnicos", en un nivel de complejidad superior. Sin embargo, las nuevas y más complejas formas de organización social conllevan, junto con nuevas ventajas, nuevos y más complejos problemas.

Las pruebas de la biología evolutiva y la antropología demuestran que la transición de las sociedades de cazadores-recolectores a las sociedades basadas en la agricultura representó, para la mayoría, un deterioro de las condiciones materiales y psicológicas de vida[44] . Presentar esta transición como un progreso innegable, como ha hecho la historiografía hasta hace poco, ha sido, en efecto, el mayor fraude de la historia, tomando prestada la mordaz expresión de Jared Diamond[45], un fraude que arroja una clara luz sobre el papel prometeico de la tecnología. Esta intuición de asociar las tecnologías más potentes con consecuencias imprevistas y potencialmente destructivas puede atribuirse a Georgescu-Roegen y adquiere, en la modernidad industrial tardía, un sabor decididamente profético.

Finalmente, hay una última conclusión, probablemente la más relevante, al menos desde la perspectiva del decrecimiento. Nos enseña que la progresiva complejización que ha atravesado toda la evolución social y cultural del Homo sapiens, sustentada en los saltos prometeicos que hemos descrito, ha ido acompañada de una pérdida de autonomía igualmente importante. Los cazadores y recolectores eran, por absurdo e increíble que parezca a nuestros ojos, mucho más autónomos en la gestión de su tiempo, de su cuerpo y en su participación en la definición de las modalidades de

la vida social que el hombre medio de las sociedades industriales, por no hablar de los pobres y excluidos que, en conjunto, forman la inmensa mayoría de nuestras poblaciones. El concepto de complejidad social, utilizado por Tainter en su estudio sobre el colapso de las sociedades en el pasado (Tainter, 1988), es fundamental en este caso, ya que permite comparar regímenes distantes en el tiempo y con formas radicalmente distintas. Cada salto de escala, en la transición de un régimen a otro, ha supuesto innegablemente un aumento de la complejidad, sobre todo a nivel de las organizaciones sociales. Este incremento (nuevas y más articuladas instituciones, diferenciación de roles, niveles jerárquicos más altos, innovación tecnológica, complejización de los flujos de información) ha sido, obviamente, funcional a la consecución de ciertos objetivos y/o a la solución de ciertos problemas. Es una historia que se ha contado muchas veces y no la recordaremos aquí. Lo que nos interesa destacar es que el aumento de la complejidad ha traído consigo una importante pérdida de autonomía.

Bioeconomía y rendimientos decrecientes

Como hemos visto, los sistemas sociotécnicos son siempre poderosamente autoconservativos, gracias al funcionamiento de un conjunto de procesos de retroalimentación negativa que garantizan el mantenimiento de la organización ("autopoiesis": Varela et al., 1991). Sin embargo, la aparición de una nueva tecnología prometeica y el consiguiente salto de escala en la disponibilidad de energía, supone la apertura de una nueva fase expansiva y, por lo tanto, la aparición de un nuevo régimen. No obstante, existe una segunda dinámica que puede explicar el advenimiento de una "gran transformación". Como hemos visto, los sistemas sociales son "problem solving organizations" (Tainter, 1988; 2006) y avanzan hacia mayores niveles de complejidad. Sin embargo, en presencia de límites en la disponibilidad de materia energética, los niveles más altos de complejidad, más allá de un cierto umbral, conducen a rendimientos decrecientes. Ahora bien, si el sistema no se detiene o invierte su curso, la continuación del crecimiento y la

complejización más allá de un determinado umbral suele provocar el colapso del sistema. Tainter (1988) analizó muchas civilizaciones del pasado, desde el Imperio romano hasta la Isla de Pascua, que siguieron esa dinámica.

Habiendo dedicado un libro entero a este tema (Bonaiuti, 2014), no describiré los diversos procesos que, a partir aproximadamente de los años treinta del siglo pasado, han dado lugar a los rendimientos decrecientes (agricultura, minería, energía, innovación tecnológica, investigación y desarrollo, sanidad, educación, etc.), para lo que se puede consultar mi texto. Lo importante es comprender que esta es la forma más común en que los procesos continuos y aparentemente sin consecuencias (transiciones importantes) dan lugar, en cambio, a discontinuidades repentinas e imprevisibles, esta vez en la dirección de una pérdida de complejidad en la organización social. Este es un punto de gran importancia que, en continuidad con la visión entrópico-disipativa de Georgescu-Roegen, ni siquiera los defensores del decrecimiento han entendido adecuadamente.

Si se examina más detenidamente, el propio concepto de decrecimiento tiene dos significados distintos: uno normativo y otro positivo. El primero, es decir, el decrecimiento como proyecto alternativo de sociedad, nos presenta un nuevo modelo bioeconómicosocial que los partidarios del decrecimiento consideran deseable. Este significado "normativo" ha sido ampliamente desarrollado en los textos de Serge Latouche (2007) y no requiere mayor explicación aquí. Sin embargo, junto a este significado hay otro: el decrecimiento como reducción de facto de los flujos de materia-energía en la economía y la sociedad. En este segundo sentido, el decrecimiento se convierte en sinónimo del "declive" que caracteriza a las sociedades capitalistas avanzadas actuales (Krugman, 2014). Está claro que en el título del texto de 1979, Demain la décroisssance, Georgescu-Roegen entendía el término décroissance en este segundo sentido. Lo que a menudo se pasa por alto es la importancia fundamental de este segundo significado del fenómeno y cómo está profundamente relacionado con el primero. Si, después de veinte años, seguimos hablando de decrecimiento (como proyecto de sociedad) a pesar de su carácter herético e inquietante, es, en primer lugar, porque las sociedades capitalistas avanzadas no han vuelto —o más bien no pueden volver

— al crecimiento económico que caracterizó la primera parte de la revolución industrial (grosso modo, hasta finales de la década de 1930 en Estados Unidos y principios de la década de 1960 en Europa; Gordon, 2012; 2014 y 2016). Esto se debe esencialmente a que, a partir de entonces, Occidente entró en una fase de rendimientos decrecientes (Bonaiuti, 2018). Si se examina más detenidamente, se trata de un proceso típicamente bioeconómico, que encuentra su razón fundamental en la copresencia de límites externos (normalmente de índole biofísica/entrópica) e internos a la organización social (costes de la complejidad) (Illich, 1973; Tainter, 2006). Esta línea de investigación, firmemente arraigada en el análisis de los procesos materiales (biofísicos, termodinámicos) y que se interroga sobre los posibles escenarios futuros y, por ende, las interacciones con los sistemas sociotécnicos, representa uno de los desarrollos más prometedores del enfoque bioeconómico.

La bioeconomía es cuidado

Como escribe Adriana Maestro en la introducción del libro de Ina Praetorius L'economia è cura (La economía es cuidado, 2016) "hoy en día el tema del cuidado se ha convertido en un tema muy popular, gracias sobre todo a una parte del pensamiento feminista que lo ha trabajado asiduamente en los últimos años, situándolo en el centro de sus reflexiones". No solo es cada vez más común hablar de cuidado, de la economía de los cuidados, del trabajo de cuidados, sino que, en la propuesta de los ecofeminismos, el cuidado se convierte, frente al mainstream, en el centro de la actividad económica y no en un sector específico de la misma. El cuidado, en este sentido, no alude tanto al simple trabajo de cuidar, que normalmente recae en las mujeres y sigue siendo en gran medida no remunerado, sino, en el sentido más amplio, al cuidado del mundo, en sus dimensiones natural, social y cultural.

Como sabemos, la ciencia económica estándar, desde Adam Smith en adelante, ignoró la dimensión del cuidado porque lo que se consideraba económicamente relevante era solo el trabajo

productivo. Este enfoque de la economía en la producción, característico de los clásicos, pero también de Marx, ha llegado hasta nosotros. Incluso hoy en día, en la literatura económica, la "teoría de la producción" predice que ciertos "factores de producción" (normalmente capital y trabajo) son combinados por la empresa para producir un flujo de bienes y servicios. Como observó Georgescu-Roegen, el hecho de que los trabajadores entren en el proceso de producción "descansados" y salgan cansados o que se les críe, alimente y cuide para que puedan participar en el proceso de producción, no es una cuestión de ciencia económica. En otras palabras, podemos concluir que la economía (clásica, marxista y neoclásica) se ocupa exclusivamente de la producción, descuidando la reproducción y sus condiciones.

Incluso con respecto a este punto fundamental, la bioeconomía de Georgescu-Roegen es una excepción. A partir de los años sesenta, Georgescu-Roegen desarrolló un modelo alternativo a la teoría neoclásica de la producción, el llamado modelo de fondos-flujos que, como hemos visto, además de dar cuenta de los límites biofísicos a los que está sujeto el proceso económico, es capaz de superar la dicotomía entre producción y reproducción. Según este enfoque, el proceso económico se sustenta en la presencia de dos tipos diferentes de entidades: los fondos, típicamente el trabajo, el capital (instalaciones) y la naturaleza (ecosistemas) tienen la característica esencial de seguir estando presentes al final del proceso. En cambio, los flujos, normalmente recursos naturales y bienes intermedios, se transforman y, por lo tanto, ya no están presentes como tales al final del proceso. Sin embargo, para que los fondos se mantengan en el tiempo "en condiciones de eficiencia constante" es necesario que se utilicen otros flujos (y otros fondos). En definitiva, se trata de la actividad de cuidado (o reproducción) de la que hablamos. En otras palabras, el modelo de fondos-flujos de Georgescu-Roegen ofrece una representación analítica rigurosa de la interacción entre los elementos productivos y reproductivos dentro del proceso económico. Este enfoque permitiría desarrollos de gran interés tanto a nivel analítico, es decir (bio)económico en el sentido estricto del término —dando valor, como señala el pensamiento ecofeminista, a dimensiones hasta ahora descuidadas —, como a nivel antropológico, ya que permitiría repensar el papel del tiempo en el proceso económico, reintroduciendo una

concepción no lineal del mismo. Una vez más, se trataría de un reto de gran calado, llevado a cabo por corrientes de pensamiento que no se refieren directamente a la bioeconomía, pero en relación con las cuales la bioeconomía podría ofrecer una importante contribución analítica.

La brecha de la circularidad y el crecimiento

de los movimientos mundiales por la justicia ambiental

Joan Martinez Alier

El Atlas de Justicia Ambiental (EJAtlas[46]) es un archivo de conflictos ecológicos distributivos (Martinez-Alier y O'Connor, 1996) que tuvieron lugar en las últimas décadas o que están teniendo lugar ahora, sobre todo en las fronteras de la extracción de mercancías o en las fronteras de la evacuación de residuos (Temper et al., 2015, 2018). El EJAtlas es un producto del contramovimiento de base por la justicia ambiental y, al mismo tiempo, una herramienta para investigar su historia contemporánea y apoyar su presencia en todas las regiones y culturas del mundo. El EJAtlas proporciona descripciones y materiales codificados para la investigación sobre ecología política comparativa y estadística (Scheidel et al., 2020; Tran et al., 2020; Martinez-Alier, 2021). Uno de sus principales propósitos es levantar el telón de la invisibilidad sobre los movimientos por la justicia ambiental o "ecologías de la liberación" (Peet y Watts, 2004) (nombres que miran hacia los objetivos de los movimientos) o sobre el ecologismo de los pobres y los indígenas, el ecofeminismo, el ecologismo subalterno, el ecologismo de los desposeídos, el ecologismo campesino o agrario, el ecologismo de la clase trabajadora, el ecologismo de los "pueblos de color" (nombres que apuntan hacia los actores sociales).

La economía industrial seguía creciendo hasta 2020. La energía de la fotosíntesis del pasado lejano, los combustibles fósiles, se quema y se disipa. Incluso sin un mayor crecimiento económico, la economía industrial necesitaría nuevos suministros de energía y materiales extraídos de las "fronteras de la extracción de las materias primas", produciendo también más residuos (incluyendo cantidades excesivas de gases de efecto invernadero). Por lo tanto, surgen continuamente nuevos conflictos ecológicos distributivos. Los estamos registrando en el Atlas de Justicia Ambiental.

Calisto Friant et al. (2020) presentan una rica tipología de los discursos sobre la economía circular. En pocas palabras, el concepto de economía circular implica que los recursos materiales podrían obtenerse cada vez más desde dentro de la propia economía, reduciendo el impacto ambiental al aumentar la reutilización y el reciclaje de materiales. Sin embargo, el análisis biofísico y metabólico cuantitativo (Fischer-Kowalski y Haberl, 2015) revela que para la economía de la UE-27 solo se recicló alrededor del 12% de los insumos materiales en 2019 (Strand et al., 2021). Existe una enorme "brecha de circularidad". La economía industrial no es circular, es entrópica (Haas et al., 2015 y 2020; Giampietro y Funtowicz, 2020), por lo que requiere nuevos suministros de energía y materiales extraídos de las antiguas y nuevas "fronteras de las mercancías" (Moore, 2000; Joseph, 2019; Gerber, 2020; Hanáček et al., 2021), y produce residuos contaminantes.

La "brecha en la circularidad" de la economía es un concepto equivalente al de "ruptura metábolica" que John Bellamy Foster señala en los análisis de los nutrientes agrícolas (el fósforo, el potasio, el nitrógeno) de Liebig y otros químicos como Boussingault y también de Marx a partir de la década de 1840 y 1850. El metabolic drift es lo mismo que un metabolic gap o un circularity gap que es muchísimo mayor en la economía actual que entonces. Lo que se recicla es muy poco y lo que se extrae de energía y materiales y se desperdicia es mucho más.

Así, surgen conflictos de distribución ecológica. Los movimientos de resistencia nacidos de tales conflictos pueden ayudar a mover la economía en una dirección menos insostenible (Scheidel et al., 2018; Temper et al., 2020).

Impulsada sobre todo por el crecimiento económico, la disminución de la biodiversidad continúa a medida que aumenta la HANPP (la Apropiación Humana de la Producción Primaria Neta de Biomasa) debido al aumento del uso de madera, al consumo de carne y de "biocombustibles" (Temper, 2016), mientras que el aporte mundial de materiales a la economía (medido en toneladas) sigue aumentando (hasta 2020), aunque pronto podría alcanzar un pico (Hickel y Kallis, 2019). El dióxido de carbono en la atmósfera medido en la curva de Keeling era de 320 ppm en 1960, alcanzando

420 ppm en 2021 en su marcha hacia 450 ppm antes de 2050. Es cierto que el pico de emisiones de CO2 y también el pico de extracción de materiales (incluidos el carbón y el petróleo, pero aún no el gas natural) podrían alcanzarse pronto, pero el descenso desde esos altos picos será lento. En un momento en el que, a pesar de todas las pruebas en contra, hay mucho entusiasmo sobre las posibilidades de una economía circular industrial, es necesario explicar los dos sentidos principales en los que los autores escriben sobre la "economía circular".

Pueden ser profesores de introducción a la microeconomía o, más recientemente, ingenieros químicos y ecólogos industriales. La microeconomía introductoria suele enseñarse en términos de lo que Georgescu-Rogen llamó irónicamente "el carrusel" entre consumidores y productores (Georgescu-Roegen, 1975a), un esquema circular en el que los productores ponen bienes y servicios en el mercado a precios que pagan los consumidores; mientras tanto, los consumidores (como proveedores de mano de obra, tierra u otros insumos o "factores de producción") obtienen dinero de los productores en forma de salarios, rentas, etc., y compran, como consumidores, los productos o servicios que se han producido. El "tiovivo" o carrusel necesita energía para funcionar (energía que se disipa) y produce residuos materiales que no se reciclan. Por ejemplo, el carbón y el petróleo no se producen realmente (en contra de lo que dicen los libros de texto de economía), simplemente se extraen, y su energía se disipa al quemarse, lo que provoca cantidades excesivas de dióxido de carbono. Esto se deja de lado en la introducción convencional a la teoría económica, o tal vez se introduce mucho más tarde, en el análisis de la "asignación intergeneracional de recursos agotables" y en el tratamiento de las externalidades que se "internalizan en el sistema de precios".

Como economistas ecológicos críticos con la corriente económica dominante desde los años 1970 y 1980, pensamos que estábamos convenciendo poco a poco al público, aunque no a los economistas profesionales, de que la representación del "carrusel" de la economía era errónea. La economía está inmersa en realidades físicas. Sin embargo, para nuestra sorpresa, la novedad reciente es que, desde la ecología industrial y no solo desde la economía, también se predica una visión circular de la economía. Aquí se tiene

en cuenta la energía producida geológicamente y los materiales que entran en la economía, y los residuos están muy presentes, pero se supone que el cambio técnico puede cerrar el círculo. Los residuos se convierten en insumos. La energía (disipada, por supuesto, a causa de la segunda ley de la termodinámica) no es un problema porque procederá de la energía solar actual (no de los combustibles fósiles, que son existencias agotables de la fotosíntesis del pasado). Se supone que la cadena de suministro circular rige físicamente en la economía. Sin embargo, sabemos que el grado real de circularidad de la economía industrial es muy bajo y que probablemente esté disminuyendo a medida que las economías anteriormente basadas en la biomasa completan su transición a una economía industrial basada en los combustibles fósiles en India y África (Roy y Schaffartzik, 2021).

Existe una gran "brecha de circularidad" entre la entrada de material "fresco" y la entrada de material reciclado en la economía. A nivel mundial, la primera es de unas 92 gt al año (una gt son mil millones de toneladas) y la segunda de unas 8 gt. Georgescu-Roegen en La ley de la entropía y el proceso económico (1971) y otros autores anteriores y posteriores (véase sobre la historia de la economía ecológica Martinez-Alier y Schlüppman, 1987) insistieron en el hecho de que la economía industrial no es circular sino entrópica. Esto explica el crecimiento de los conflictos ambientales en las fronteras de extracción de materiales y de evacuación de residuos, porque la energía se disipa y solo una pequeña cantidad de materiales se recicla. Esta es la lección número uno de un curso de economía ecológica y ecología política. El bajo grado de circularidad tiene dos razones principales (Haas et al., 2015). En primer lugar, el 44% de los materiales procesados se utilizan para proporcionar energía y, por tanto, no están disponibles para el reciclaje. En segundo lugar, los stocks de materiales (viviendas, infraestructuras, vías de comunicación) crecen a un ritmo elevado, con adiciones netas a las existencias de 17 gt/año. La expansión de esos stocks (en gran parte de cemento, el "entorno construido") requiere en primer lugar una aportación creciente de materiales y energía; y, una vez instaladas, se necesita una aportación persistente de materiales y energía para su mantenimiento y funcionamiento (Haas et al., 2020). Incluso una economía industrial que no crezca necesitaría grandes suministros nuevos de energía y

materiales procedentes de las fronteras de extracción de materias primas, ya que la energía no se recicla y los materiales solo se reciclan en pequeña medida.

El llamado Informe sobre la brecha de circularidad (basado en Haas et al., 2015) afirma que en 2017 se extrajeron 92 gt de recursos y solo se recicló el 8,6% de todos los materiales utilizados[47]. Si menos del 10% de los materiales (incluidos los portadores de energía) se reciclan, ¿de dónde procede el 90% restante? Mi respuesta es: de las nuevas fronteras de extracción de materias primas y también, en cierta medida, de las fuentes habituales. Así, el aluminio puede proceder en cierta medida del reciclaje, de la bauxita de las antiguas minas que se utilizan de forma más intensiva, o es muy probable que proceda de nuevas minas de bauxita.

Existe una nueva iniciativa colectiva para el estudio histórico de las "fronteras de las mercancías" y una nueva revista con este título[48]. Este concepto (Moore 2010) es cada vez más relevante. La economía industrial marcha todo el tiempo a las fronteras de extracción en busca de materiales y también viaja a las fronteras de evacuación de residuos. Los residuos se depositan a veces en cualquier lugar (residuos sólidos o líquidos, o GEI), y a veces una pequeña parte de ellos vuelve a ser valorada económicamente por los recicladores, o en los controvertidos esquemas REDD de "captura" de dióxido de carbono (Schindler y Demaria, 2020). Tanto las fronteras de extracción de materias primas en expansión como las fronteras de evacuación de residuos suelen estar habitadas por seres humanos y, desde luego, por otras especies. De ahí el crecimiento del número de conflictos sobre el uso del medioambiente, y como respuesta la creciente fuerza del movimiento de justicia ambiental. Dos procesos de crecimiento y cambios en el sociometabolismo se asocian a las fronteras de extracción de mercancías: la ampliación de las fronteras y la profundización de las mismas (Banoub et al., 2020). El primero implica la extensión espacial de la apropiación de la naturaleza, a través del control territorial para la extracción y el uso de los recursos naturales, así como los actos de desposesión que eso lleva consigo. El segundo implica la intensificación de la explotación en los lugares existentes, a través de la innovación sociotécnica y de nuevas inversiones en el mismo lugar como, por ejemplo, la

extracción de minerales metálicos o de carbón mediante técnicas a cielo abierto, descartando la minería subterránea anterior, la fracturación de gas o petróleo, la pesca o la agricultura de plantación con métodos que gastan más energía. Se amplían las fronteras y también se "profundizan" las fronteras.

Combinando los conocimientos de la economía ecológica, la ecología industrial y la ecología política, llegamos a la conclusión de que la "brecha de circularidad", la "brecha metabólica" o "ruptura metabólica" (en inglés, metabolic gap, metabolic rift), es decir la necesidad de la economía industrial de obtener enormes cantidades de materiales y energía "frescos" todo el tiempo, es la causa principal del gran y creciente número de conflictos ecológicos distributivos (en la extracción, el transporte y la evacuación de residuos —incluidos los causados por las cantidades excesivas de CO2—) y, por lo tanto, también de tantos movimientos de resistencia en las fronteras de la extracción de materias primas y evacuación de residuos (como se muestra en el EJAtlas, que en septiembre de 2021 tenía más de 3.500 entradas de todo el mundo, una gran muestra de un número desconocido mucho mayor de conflictos).

A veces, las empresas se enfrentan a pagos por responsabilidades ambientales en tribunales nacionales o internacionales. Sin embargo, la regla general es no hacer frente a esas deudas ecológicas o pasivos ambientales, no pagar nunca: el éxito del "desplazamiento de costes", como explicó Karl W. Kapp en 1950. Así, el Acuerdo de París de 2015 sobre el cambio climático aplica la norma de "irresponsabilidad legal" (no liability) a los países: el "Acuerdo no implica ni proporciona una base para ninguna responsabilidad o compensación".

1971-1972-1973: la fallida 'revolución vernadskiana' (y bioeconómica) y nuestro ingreso en el delirio epistemológico

Jorge Riechmann

Delirio epistemológico, sí, pero ¿desde cuándo?

¿De qué manera se relaciona la cuestión de la posverdad con el segundo principio de la termodinámica? Tratar de responder a esta cuestión puede arrojar alguna luz interesante sobre cómo hemos podido llegar a la terrible situación actual, al borde del abismo ecológico-social.

Desde la elección de Donald Trump como presidente de Estados Unidos (2016), dice el filósofo y sociólogo francés Bruno Latour (2019: 39), estamos viviendo una situación de "delirio epistemológico". Cada vez resulta más difícil que nuestras sociedades se pongan de acuerdo ni siquiera sobre lo que han de ser considerados hechos elementales. La cuestión de la "posverdad" (o la reivindicación de "hechos alternativos" desde lo alto de la pirámide de poder) no es nada baladí[49]: si aceptamos el negacionismo climático, y con él la denegación de nuestra situación existencial básica, perdemos casi toda posibilidad de orientarnos entre verdades y mentiras (y errores). Pues "la denegación no es una situación cómoda. Denegar es mentir fríamente y luego olvidar que uno mintió (y, a pesar de todo, recordar siempre la mentira)" (Latour, ibid.).

Así pues, delirio epistemológico. Pero ¿solo desde momentos tan

recientes como las elecciones que llevaron a Donald Trump o a Jair Bolsonaro al poder? ¿O más bien la cosa viene de mucho más atrás? Yo diría que esto último es el caso, y que los años que siguieron a 1971-1972 marcarían esa deriva. En efecto, en 1971 se publicó uno de los textos clave del siglo XX: el libro de Nicholas Georgescu-Roegen La ley de la entropía y el proceso económico, una propuesta de reconstrucción de la teoría económica asumiendo las realidades fundamentales que estaban siendo ignoradas por la concepción del mundo dominante: que los sistemas económicos se hallan insertos en los ecosistemas de la biosfera y dependen de ellos, así como de un stock limitado de recursos minerales finitos; y que todo el proceso económico está marcado por la entropía y sometido a la segunda ley de la termodinámica, probablemente la ley física más importante del universo. Y después, en 1972, se publicó otro libro esencial: Los límites al crecimiento, el primero de los informes del Club de Roma. Y en ese mismo año se celebró la primera de las grandes conferencias internacionales de Naciones Unidas sobre medioambiente, la Cumbre de Estocolmo.

Como ha señalado Mariano Vázquez Espí (2010), el diagnóstico de la crisis ecosocial y el arsenal de conocimientos para intentar superarla se habían puesto a punto ya en 1975 a lo más tardar, y "desde entonces nuestra sociedad no tiene disculpa". Alguna gente llamó a los años setenta "la década del medioambiente", recuerda J. Baird Callicott al comienzo de su excelente libro Earth's Insights (traducido al castellano como Cosmovisiones de la Tierra). Visto retrospectivamente, parece claro que más bien deberíamos llamarla "la década del cambio de rumbo fallido y las oportunidades desaprovechadas". Pues hacerse cargo de la realidad, a partir de aquellos años, hubiera supuesto ir asumiendo lo que ponía sobre la mesa todo aquel cuerpo de conocimiento (economía biofísica, en el caso de Georgescu-Roegen; prospectiva basada en modelos de dinámica de sistemas, en cuanto a los esposos Meadows y sus colaboradores) y a partir de ahí emprender una transformación profunda de las sociedades industriales (para evitar el colapso ecosocial hacia el que se encaminaban). Pero, en vez de eso, se prefirió ignorar la realidad y emprender la huida hacia adelante, dentro de lo que he llamado alguna vez la era de la denegación (coincidente, en lo político, con la fase neoliberal de la historia del capitalismo). En 1973, el golpe de Estado contra el gobierno de

Salvador Allende en Chile marca este giro funesto. Parece que nuestro delirio epistemológico viene durando ya cinco decenios, desde aquellos años 1971-1972-1973. Examinemos la cuestión con cierto detalle.

Una 'revolución vernadskiana'

Si preguntásemos hoy a personas cultas en España quién fue Vladimir Vernadsky o Nicholas Georgescu-Roegen, ¿cuántas sabrían responder? ¿Una de cada cien? ¿Un par de cada mil? Eva Botella (2021) nos habla (con razón) de agnotología en cuanto producción deliberada de ignorancia.

Quienes establecieron los fundamentos de lo que podría ser una cultura durable, una economía viable, una sociedad sustentable, son casi completos desconocidos. Eso nos dice mucho sobre la clase de mundo donde nos hallamos. Es como si casi todo estuviera del revés, cabeza abajo, invertido… Padecemos una tremebunda desconexión con respecto a los que tendrían que ser los cimientos de nuestra cultura.

El químico y geológo ruso Vladimir Ivanovich Vernadsky (1863-1945) es el fundador de la biogeoquímica[50], un pionero de la ecología, y científico esencial para lo que decenios después llamaremos "ciencias de la tierra" (y para la teoría Gaia). Lo recordamos sobre todo como autor de una obra clave como Biosfera, en 1926 (el término había sido acuñado por el geólogo austriaco Eduard Suess en 1875 en su obra El surgimiento de los Alpes) (Grinevald, 1991: 100). Vernadsky, nos dirá el gran ecólogo catalán Ramón Margalef (1997:11), "anticipa la visión global de la biosfera como una entidad funcional unificada, con las propiedades y capacidades sintéticas que ahora se propugnan y compendian bajo la imagen de Gaia".

Vernadsky es en efecto el pionero de lo que luego hemos llamado ecología global, consagrándose a partir de 1917 al estudio de "la acción de la vida sobre los procesos terrestres que se manifiestan

por doquier" (1997: 47). Y así "el punto de vista que introduce la noción de biosfera viene a proponer una aproximación que, en el límite, nos llevaría a reconocer en la biosfera entera los rasgos esenciales de un organismo o a considerarla un 'superorganismo'" (Margalef, 1997: 11). El geoquímico está tratando de introducir un verdadero cambio de paradigma, y por eso cabe hablar de una "revolución de Vernadsky": la expresión fue acuñada por Jacques Grinevald en 1985, en la segunda reunión del Consejo Mundial para la Biosfera (Grinevald, 2017: 195 y ss.) (el filósofo e historiador de la ciencia francés, profesor en la Universidad de Ginebra, ha insistido sobre ello en ocasiones posteriores).

Pero la nueva visión biosférica (o, más tarde, gaiana, ya con James E. Lovelock y Lynn Margulis) sacude las creencias profundas de lo que llamamos civilización moderna. ¡Resulta que la investigación científica nos indica que el mundo no está aquí para servir a Homo sapiens…! "Lo que se llama razón de Estado, soberanía nacional, riqueza de las naciones, desarrollo de las fuerzas productivas, progreso, expansión, crecimiento y en adelante seguridad ambiental o desarrollo sustentable son solo convenciones humanas, ilusiones antropocéntricas. La ideología de la gestión racional ahora querría hacernos creer que la Tierra, esta biosfera evolutiva singular, es nuestra 'nave espacial', ¡que nosotros somos sus pilotos! ¡Qué presunción ingenua, qué arrogancia!" (Grinevald, 1995).

Esta "revolución vernadskiana" se traduciría, en el ámbito de la investigación económica, en una "revolución bioeconómica" que debería haberse desarrollado a partir de los trabajos de Nicholas Georgescu-Roegen (junto a Kenneth E. Boulding y otros pioneros). Pero, sigue observando Grinevald (1995):

estoy más convencido que nunca de que no escaparemos al conflicto psicológico que Freud evocó al hablar de las heridas narcisistas que la investigación científica ha infligido, desde Copérnico y Darwin, al orgullo humano. La herida narcisista que constituye el descubrimiento de la entropía, la famosa "flecha del tiempo" del segundo principio de la termodinámica —el principio de Carnot— explica, en mi opinión, la dificultad con que topó la "revolución bioeconómica" de Georgescu-Roegen. La crisis ecológica seguirá

empeorando hasta que aceptemos las implicaciones biológicas, tecnológicas y económicas de esta ley básica de entropía creciente. En este punto, el debate sobre Gaia, es decir la Biosfera (con una B mayúscula porque se trata del planeta Tierra), se suma al de las tesis de Georgescu-Roegen.

El punto ciego y quizá más ciego para nuestra civilización (hay unos cuantos) es el que se refiere a la estupefaciente sobreabundancia energética que nos proporcionaron, durante un siglo y medio, los combustibles fósiles. Ceguera ante la energía, ignorancia termodinámica, analfabetismo ecológico: con este desconocimiento avanzan nuestras sociedades hacia el abismo.

Economía secuestrada

La economía, en una variante muy particular (la teoría económica de Walras y Jevons, esto es: el marginalismo neoclásico, la "mecánica de la utilidad y el interés propio", según el propio William Stanley Jevons en 1871), ha adquirido un papel muy especial en la cultura dominante (y en la legitimación del capitalismo). "Con una influencia cada vez mayor" —advertía Ernst F. Schumacher en su libro de 1973 Lo pequeño es hermoso, todo un clásico de la reflexión ecologista publicado también en aquellos años decisivos que estamos rememorando aquí—.

Los economistas se encuentran en el centro mismo del interés público, de tal suerte que los resultados económicos, el crecimiento económico, la expansión económica, etc., no se han transformado en el permanente interés, sino en la obsesión de toda sociedad moderna. […] Si una actividad ha sido etiquetada como antieconómica, su derecho a existir no es meramente cuestionado sino negado con energía. […] Llámese a una cosa inmoral o fea, destructora del alma o degradante de la condición humana, un

peligro para la paz del mundo o un atentado al bienestar de las futuras generaciones, que si no ha demostrado que es "antieconómica" no habrá cuestionado en nada su derecho a existir, crecer y prosperar (Schumacher, 1978: 36).

Hoy, medio siglo después, el imperialismo de la economía convencional es todavía más fuerte, injustificable y dañino. "La escuela de pensamiento neoclásica [paradigma que emergió en el decenio de 1870] se presupone como el único paradigma riguroso, científico y políticamente válido, ejerciendo un 'insano monopolio intelectual' (Rethinking Economics, 2017) en la enseñanza, la investigación, la asesoría política y el debate público" (Agenjo, 2020). Los enfoques alternativos han sido silenciados, en un proceso que nada tiene que ver con la calidad de la ciencia y sí mucho con las relaciones de dominación. "El concepto mismo de economía está secuestrado por el neoliberalismo", señala la filósofa brasileña Marcia Tiburi; "tenemos que pensar otras formas de construir nuestra economía" (Redacción de El Salto, 2021).

El enorme peso de la teoría económica convencional en la configuración de la ideología dominante se manifiesta de mil formas. Permítaseme una anécdota personal. En febrero de 2021, una estudiante alemana que ha trabajado conmigo participó en un "German Symposium" organizado por estudiantes de la famosa LSE (London School of Economics and Social Sciences). Me comentaba ella (comunicación personal, 8 de febrero de 2021):

Casi no pude aguantarlo: un político de la CDU que habló con nosotros (aproximadamente diez estudiantes) logró explicar todo al revés: 1) Algunos dicen que no es posible el crecimiento infinito en un planeta limitado, lo que quizá suene lógico, pero es completamente falso, como sabemos quienes estudiamos economía. 2) Los Verdes —bajo la influencia de una "ideología" (que no definió)— que predican la reducción del consumo y que quieren prohibir tantas cosas (lo que en mi opinión die Grünen ya no hacen desde hace mucho tiempo) bloquean la solución del cambio climático. 3) Si cada habitante de la Tierra consumiese como los

alemanes necesitaríamos tres planetas. Esto significa que necesitamos más crecimiento y aumentar la productividad enormemente para que podamos alcanzar el mismo nivel de consumo pero con un solo planeta. 4) En este decenio se decide el futuro de la humanidad. Por eso necesitamos un gigantesco programa de inversiones y crecimiento verde.

Cuando la estudiante objetó que si se puede o no continuar el crecimiento económico (sin dañar) debería ser una cuestión empírica, y le preguntó al político derechista alemán si en una situación donde el fracaso de las tecnologías verdes conllevaría riesgos altísimos, no sería mejor orientarse según el principio de precaución, la respuesta fue: "Habríamos tenido que empezar con la precaución ya después de la Segunda Guerra Mundial. Para la precaución ya es demasiado tarde"[51].

Y es que la mirada económica convencional nos impide ver realidades básicas o las vuelve del revés. El velo monetario nos nubla la vista. Como señala Fernando Cembranos, recogiendo una de las líneas principales de la crítica de la economía ecológica, esta forma de mirar ve la realidad a través del dinero, llegando a confundir las variables cuantitativas monetarias con la realidad misma.

Mide la riqueza, el desarrollo e incluso el bienestar en términos monetarios. Solo ve lo que es contabilizado en dinero, dejando fuera la riqueza ecosistémica, los factores de equilibrio de la atmósfera, las posibilidades de vida de las generaciones futuras, la risa, la soledad y la muerte. Cuenta como ingresos y beneficios lo que son costes. Por ejemplo, si se pierde la tranquilidad y la seguridad de las plazas y calles y se ponen en su lugar policías privados y alarmas se dirá que ha crecido la producción y la riqueza. Si se contamina el agua y esta ha de venderse en el supermercado, habrá crecido el PIB, también se dirá que el país se ha hecho más moderno, más desarrollado y más rico. El sistema económico convencional ignora las pérdidas, el deterioro y la destrucción. No resta la pérdida de biodiversidad o la pérdida de

autoestima y muchas veces suma lo que hay que restar. Por eso llama producción a lo que es extracción o simple expolio y mercantilización de los recursos preexistentes (petróleo, minerales, etc.). No contabiliza buena parte del trabajo de las mujeres por la vida, cuando transmiten la lengua materna a sus bebés o cuidan de que no les suba mucho la fiebre, tampoco el acarreo de comida, si este se hace a pie. El trabajo de las mujeres por la vida es clasificado como de población "inactiva". Cuanto más lejos se compra, más sube la "producción" de un país. Lo cercano "empobrece". Estar sano no contabiliza. Los indicadores macroeconómicos son poco o nada sensibles a la injusticia. Desprecian lo duradero, lo que es de todo el mundo. El sistema económico crece con una parte de nuestra irresponsabilidad (usar y tirar) y con nuestra insatisfacción crónica y es ciego al colapso ecológico y energético (Cembranos, 2020-21: 135).

Tiene su guasa que precisamente el sistema socioeconómico que asociamos con la máxima racionalidad cuantificadora solo pueda funcionar mal que bien a base de no echar las cuentas correctamente. Pero es exactamente así: el capitalismo solo logra engañosos saldos positivos porque ignora, sistémica y sistemáticamente, todas las restas que tendría que hacer de su "producción". Lo consumido, degradado y destruido se arroja al limbo de la conciencia bajo la etiqueta de "externalidades", y solo de esta forma podemos seguir confiando en el crecimiento del PIB o en el desarrollo de las fuerzas productivas.

En fin, cabe preguntarnos, con Antonio Gramsci, si esa teoría económica marginalista "es una ciencia o si es 'alguna otra cosa', aunque trabaje con un método que, en cuanto método, tiene su rigor científico. La teología muestra que existen actividades de este género. También la teología parte de una serie de hipótesis y luego construye sobre ellas todo un macizo edificio doctrinal sólidamente coherente y rigurosamente deducido. Pero ¿es con eso la teología una ciencia?" (citado en Apilánez, 2018). No obstante, la desconexión de la teoría económica con respecto al mundo real (el mundo de las realidades biofísicas, el mundo donde los cuerpos humanos respiran aire en cuya composición hallamos ciertas

cantidades de metano y dióxido de carbono) no afecta solo a la corriente neoclásica. Impresiona mucho, por ejemplo, que alguien como David Harvey, uno de los más destacados eruditos marxistas del mundo, no se haya dado cuenta de lo que realmente significa el calentamiento global —a saber, una amenaza existencial para la humanidad y para la entera biosfera— ¡hasta 2019![52].

La 'revolución vernadskiana' debería concretarse

en una 'revolución bioeconómica'

El economista (e historiador de la economía ecológica) Clive L. Spash (2020) acierta al indicar que "la economía pretende servir a los intereses humanos para un mayor bien común, pero se ha separado completamente de cómo funcionan los sistemas económicos reales a la vez que niega el potencial humano y destruye el mundo no humano". Algunos economistas "revisionistas" ya hace decenios que emprendieron una reformulación radical para abrirse a los nuevos desafíos, considerando los sistemas socioeconómicos como subsistemas dentro la biosfera, en cuyo seno tienen que incardinarse mejor. Impresiona releer hoy textos como los del institucionalista Karl William Kapp, un economista alemán que se exilió y trabajó en Estados Unidos, quien en 1950 publica la primera edición de Los costes sociales de la empresa privada. Hace más de siete decenios Kapp, en ese libro, escribe sobre la destructividad socioecológica del capitalismo y sobre sostenibilidad: no con el lenguaje con que estamos hablando ahora, pero con enorme lucidez sobre estas cuestiones que ahora a muchos les parecen "nuevas". Hay toda una serie de precursores que han sido ignorados, minusvalorados, silenciados por el grueso de esa economía neoliberal tan desastrosa, creo, tanto en el plano teórico como en el de las políticas prácticas que se derivan de ella.

La propuesta más importante —que "reformula el núcleo duro, matemático y pretendidamente cuantitativo de la ciencia

económica, proponiendo un auténtico cambio de paradigma" (Naredo, 1996: 13)— es la bioeconomía del economista rumano-estadounidense Nicholas Georgescu-Roegen, plasmada sobre todo en su obra maestra La ley de la entropía y el proceso económico. La ley fundamental de la entropía creciente (como la llamaba Max Planck), el segundo principio de la termodinámica (la "ley suprema" del universo para Arthur Eddington), es para Georgescu-Roegen la más económica entre todas las leyes de la naturaleza (Georgescu-Roegen, 1996: 47) y la clave para asentar la teoría económica sobre bases biofísicas sólidas. Óscar Carpintero, el principal estudioso de la obra del economista rumano-estadounidense en nuestro país, resume lo esencial de este libro en cuatro aspectos:

En primer lugar, incorpora una detallada crítica de la epistemología mecanicista y sus limitaciones, destacando a la vez la paradoja de que la economía adoptase este enfoque cuando precisamente había entrado en crisis en la propia física durante el primer tercio del siglo XX. Por otro lado, el libro incluye una extensa discusión sobre el concepto de entropía y su difícil entronque con la epistemología mecanicista, habida cuenta de su asociación a nociones como cambio, cualidad y aleatoriedad. En tercer lugar, apoyándose en la ley de la entropía, este texto supuso una reivindicación del concepto de evolución (y todo lo que ello supone) frente a la mecanicista locomoción como pieza clave en la reflexión científica sobre el mundo. […] El economista rumano concluye su texto, en cuarto lugar, aplicando al campo de lo económico las consecuencias de este viraje filosófico. Y es con esta aplicación con la que obtiene una representación analítica alternativa del proceso de producción, que supera la analogía mecánica de la economía convencional, e incorpora las enseñanzas de las leyes de la termodinámica (en concreto del segundo principio) (Carpintero, 2006a: 103-104)[53].

El libro del economista rumano-estadounidense publicado en 1971 puede cambiar la concepción del mundo de quien lo lea con atención, como testimonia por ejemplo la experiencia personal de Luis Arenas (2021: 28-29). Según nos indica Jacques Grinevald

(1996:35), esta obra “representa un hito simbólico análogo a De revolutionibus orbium caelestium de Nicolás Copérnico (1543) o El origen de las especies de Charles Darwin (1859)”. ¡Nada menos que eso! El silenciamiento de la nueva perspectiva constituye una verdadera catástrofe político-cultural en nuestra historia reciente.

El legado de Georgescu-Roegen es inmenso. Todavía hoy se desconoce su envergadura. Nuestros descendientes, que sufrirán las consecuencias de nuestra arrogancia y nuestra negligencia, nos reprocharán el olvido de un genio […] que derrochó energía en vivificar (en la acepción plena del término) nuestro modo de pensar la economía, tan dramáticamente reducida a una cinemática abstracta de la “máquina económica”, en una época en que ya sería oportuno cambiar de metáfora” (Grinevald, 1996: 20).

En nuestro país, José Manuel Naredo y Joan Martínez Alier representan de forma brillante la economía ecológica inspirada por los trabajos de Georgescu-Roegen[54]. La revolución gaiana-vernadskiana antes evocada debería concretarse, en economía y ciencias sociales, en una revolución bioeconómica que situase las propuestas del economista rumano-estadounidense en el centro de una cultura renovada.

El papel del dinero en nuestro delirio epistemológico

Una parte importante de la explicación de la trampa en que hemos caído ha de buscarse en aquella racionalidad económica dominante[55] que ignora la inserción de los sistemas económicos en la biosfera terrestre y nos ha hecho creer que todo puede reducirse a dinero. Pero así negamos un hecho esencial: lo que no resulta biofísicamente posible, no será nunca económicamente viable. Y este negacionismo nos precipita en el delirio epistemológico… Con la evidencia creciente sobre la crisis ecológico-social en los años a

partir de los años sesenta,

se producirá una de las paradojas más extraordinarias de la sociedad occidental contemporánea. En efecto, en lugar de plantearnos preguntas sobre la situación de los flujos [metabólicos] reales y su interacción, y buscar modificar la naturaleza y cantidad de los recursos energéticos y materiales usados en los procesos de producción, intercambio y consumo (a su vez moldeados por nuestras concepciones técnico-económicas), nos hemos dedicado a considerar esencialmente los flujos reales a través de sus signos monetarios. Hemos establecido así una especie de correspondencia entre cosas reales independientes de nosotros y signos dependientes de nuestro sistema, y deducido de ello que el juego de signos podría tener como consecuencia una regulación de cosas reales. Esto equivale a decir que hemos buscado en el sistema, que es él mismo responsable de la crisis ambiental, los medios para superar esta crisis; de ahí el desarrollo de la economía ambiental [neoclásica]. ¡La contradicción obviamente no es pequeña! […] Cuando la economía trabaja sobre los signos de las cosas y no sobre las cosas mismas a través de precios y cantidades, el medioambiente no se tiene suficientemente en cuenta, y esto tanto más cuanto que los procedimientos se implementan a posteriori. La contradicción fundamental radica en el hecho de que queremos preservar las cosas no adhiriéndonos a sus procesos, sino a los signos monetarios que las representan (Raffestin, 1995).

La realidad es el mundo de las grullas y los olivares, la fotosíntesis y la cestería, el mundo biofísico cuya más importante concreción se llama la biosfera terrestre o Gaia. Y el dinero es una convención social. Pero el velo monetario oscurece los bienes y servicios biofísicos de los que dependemos (somos ecodependientes e interdependientes), nos hace vivir en un mundo fantasmagórico, (y con ello nos encaminamos a la catástrofe…). Hemos de practicar y enseñar la economía desde un enfoque tanto biofísico como social, si es que se trata de hacerse cargo de la realidad… y ser capaces de evitar lo peor de los colapsos ecosociales hacia los que avanzamos. Como indicaba Jason Hickel en un tuit, “la ‘economía’ es, en última

instancia, la suma de nuestros intercambios entre nosotros y con el resto del mundo vivo. En otras palabras, es una relación. Necesitamos decidir cómo queremos que sea esa relación. ¿Una basada en extracción y dominación? ¿O una basada en la reciprocidad?"

Luis Ángel Rojo, un economista español clave (catedrático de la Universidad Complutense de Madrid desde 1966 y gobernador del Banco de España en 1992-2000), decía que la labor de los economistas (refiriéndose a la economía convencional, claro está) era contarle a la sociedad que los Reyes Magos no existían y en la vida no hay nada gratis. Deberíamos ser capaces de ver el grandioso contrasentido: la profesión económica, casi en bloque, se ha dedicado precisamente a escribir cartas a los Reyes Magos: hagamos como si la entropía no existiera, como si los recursos naturales fuesen infinitos, como si la Tierra pudiese absorber indefinidamente cantidades masivas de contaminación…

"Un entramado institucional basado en la exclusión de los límites ambientales de la ecuación de la economía política solo puede conducir, como de hecho viene haciendo, al desastre" (Arias, 2018: 190). Ha pasado más de un siglo desde Vernadsky. Más de medio siglo desde Georgescu-Roegen. Donde necesitábamos una revolución vernadskiana y bioeconómica, tuvimos sin embargo denegación y huida hacia adelante. Como analiza Nate Hagens (2020), nuestra ceguera para la energía (o para la termodinámica, más en general) tiene terribles consecuencias. 1971-1972-1973: retengamos esas fechas. De ahí viene nuestro delirio epistemológico, con todas sus terribles consecuencias.

Tres niveles de negacionismo

De manera que la racionalidad económica dominante, movida por el dinero, nos arrastra a una catástrofe planetaria. Y las propuestas alternativas —bien trabadas, rigurosas, convincentes— existen desde hace decenios, pero no son atendidas. Como decíamos al

comenzar este capítulo, vivimos ciertamente en un delirio epistemológico, pero no uno reciente: sus raíces llegan muy atrás. Medio siglo atrás.

Esto nos lleva a conjeturar que quizá el asunto de más envergadura al que tendrían que hacer frente las y los intelectuales de nuestras sociedades hoy (supondremos que esa categoría de "intelectuales" sigue siendo útil, lo cual está lejos de ser evidente), ya en el tercer decenio del tercer milenio, en el tercer planeta del Sistema solar, es el negacionismo.

Pero no en el que era el sentido más habitual de "negacionismo" hace treinta años (referido al Holocausto, la Shoáh), el que podríamos llamar nivel cero; ni tampoco al más corriente hoy (negacionismo climático), nivel uno; sino a un negacionismo más amplio: el negacionismo que rechaza que somos seres corporales, finitos y vulnerables, seres que hemos puesto en marcha procesos destructivos sistémicos de magnitud planetaria, y que hemos desbordado los límites biofísicos del planeta Tierra[56]. Este sería el nivel dos (que hemos explorado en términos de la fallida revolución vernadskiana y bioeconómica).

Me refiero al negacionismo que rechaza la finitud humana, nuestra animalidad, nuestra corporalidad, nuestra mortalidad, y esos límites biofísicos que visibiliza, por ejemplo, la famosa investigación (sobre nine planetary boundaries) de Johan Röckstrom y sus colegas en el Instituto de Resiliencia de Estocolmo.

Y habría, más allá de esto, un tercer nivel de negacionismo: el que rechaza la gravedad real de la situación y confía en poder hallar todavía soluciones dentro del sistema, sin desafiar al capitalismo. Por desgracia (porque esto complica aún más nuestra situación), ya no es así… Hemos dejado pasar demasiado tiempo sin actuar. Ojalá existiesen esos espacios de acción —pero eso equivale en buena medida a decir: ojalá estuviésemos en 1980, en 1990, en vez de en 2020—. Ojalá 350 ppm de dióxido de carbono en la atmósfera, en vez de 415 (y creciendo rápidamente)[57]. Pero, como señala Daniel Tanuro (2019), "para tener un 50% de probabilidades de limitar el calentamiento a 1'5°C sin recurrir a tecnologías de aprendices de brujo, es preciso que las emisiones netas mundiales de CO2 disminuyan un 58% de aquí a 2030, y un 100% de aquí a 2050, y

sean negativas a partir de entonces. Es rigurosamente imposible alcanzar estos objetivos, o siquiera acercarse a ellos, sin una ruptura anticapitalista revolucionaria. Topamos aquí de nuevo con la cuestión del crecimiento…".

El ecomodernismo —con versiones de izquierdas y de derechas—, por ejemplo, asume que una transformación ecosocialista decrecentista es imposible, y que solo habría salvación posible acelerando todavía más nuestra huida prometeica hacia adelante: buscando un futuro de alta energía y alta tecnología. Para mí, esto queda dentro del negacionismo de tercer nivel. La huida hacia adelante, con "el delirio antropocéntrico de dominación ilimitada" como lo llama Joaquim Sempere (2020: 140), va de la mano con el delirio epistemológico, y ambos se realimentan mutuamente.

Políticas de reinserción

Llamamos "exigencias de clase media" (por ejemplo, Joaquín Estefanía en su artículo "La fatiga democrática") a lo que son modos de vida imperiales (Alberto Acosta y Ulrich Brand). Así, seguimos sin asumir de verdad la cuestión de los límites (la contradicción de los "límites del crecimiento ilimitado", nos dice Antonio Campillo en su libro Un lugar en el mundo), que será la más decisiva de todo el siglo XXI. Como sociedad, seguimos siendo básicamente negacionistas. Y si "el negacionismo debería ser considerado delito, con un tribunal internacional que juzgase los ecocidios" (Manuel Rivas en "Todo va 'magníficamente' mal"), ¿quién en el Norte global se salvaría de comparecer ante tal tribunal, aunque las responsabilidades, por supuesto, sean muy diferenciadas?

Negacionismo, capitalismo y límites biofísicos: este es "el tema de nuestro tiempo"[58]. Pero no se trata solo (ni principalmente) de "la torpe obsesión de la humanidad por obtener cada vez más beneficios" (Siri Hustvedt): se trata de las dinámicas sistémicas del capitalismo… y de una pugna en el plano de la emergente cultura planetaria que se decantó, de modo funesto, por la negación de la

realidad a partir de 1973.

En cuanto dejamos de pensar a corto plazo, los términos del debate ecosocial cambian drásticamente. (Por eso la dimensión generacional de este debate es tan importante.) Pero desde los retrocesos de los años ochenta no hemos hecho otra cosa que pensar a cortísimo plazo…

Necesitamos políticas de reinserción: reinserción de los sistemas humanos en la biosfera (de acuerdo con principios de biomímesis). El primer paso sería volver a 1971 con Nicholas Georgescu-Roegen y darnos una palmada en los muslos: ¡diablos, la termodinámica y la ecología son la base!

PARTE II

ONDAS EXPANSIVAS:

LA REPERCUSIÓN DE GEORGESCU-ROEGEN MÁS ALLÁ DE LA ECONOMÍA

Entropía y utopía. Georgescu-Roegen y su impacto en el proyecto emancipador*[59]

Emilio Santiago Muíño

Reconsideración de las utopías y el impulso utópico

En La Ley de Entropía y el proceso económico, obra cumbre del economista rumano Nicholas Georgescu-Roegen, este afirmaba que las implicaciones de la segunda ley de la termodinámica, obviada por el paradigma económico convencional, nos obligarían a "abandonar muchas de las ideas a las que nos aferramos actualmente en cuestiones de desarrollo económico y sustituirlas por una más amplia perspectiva de lo que significa el desarrollo económico en términos de transformación entrópica" (Georgescu-Roegen, 1996: 366). Parafraseando sus propias palabras y llevándolas más lejos de lo que Georgescu-Roegen asumió como proyecto intelectual, su revolución bioeconómica también nos obliga a abandonar muchas de las ideas a las que nos aferramos actualmente en cuestiones de emancipación social, y sustituirlas por una más amplia perspectiva de los que significa la utopía en términos de transformación entrópica. El objetivo de este texto es explorar este horizonte de reajuste del proyecto emancipador moderno para nuestro mejor conocimiento científico, campo en el que Georgescu-Roegen supuso un hito todavía poco asumido, a pesar del medio siglo que ha transcurrido desde la publicación de su libro más conocido. Este ejercicio de extrapolación, si bien está obligado a asumir licencias interpretativas originales, mantendrá cierto cuidado hermenéutico: aunque esa no era su intención central, a lo largo de sus páginas la obra de Georgescu-Roegen está repleta de fogonazos que iluminan en qué puede consistir la mejor

vida social posible en un mundo que ha asumido el dictamen de las leyes de la termodinámica.

Para ello es necesario hacer unas definiciones previas. Por utopía entiendo, con Ernst Bloch, una pulsión constante de la condición humana, que se codifica en arquetipos culturales muy diferentes según el tiempo y el lugar, pero que básicamente se hace cargo de la procesualidad siempre inacabada del mundo, proyectando sobre ella el sentimiento de la esperanza concreta como forma de que lo que todavía no ha llegado a ser sea finalmente en su mejor promesa, en su mejor versión (Bloch, 2004).

Como proyecto emancipador voy a nombrar un paraguas muy amplio y diverso en sus contenidos que articula, básicamente, el proyecto utópico de la modernidad. Una utopía que es históricamente diferente a aquellas otras que la precedieron, porque la combinación del desarrollo tecnocientífico y disolución de los viejos órdenes sociopolíticos tradicionales abrió un horizonte de posibilidad para el perfeccionamiento humano vertiginoso. Este, además, se convirtió en la gasolina ideológica de toda una serie de nuevas cosmovisiones y nuevos mitos políticos. Sin duda, la idea de emancipación moderna tiene una de sus génesis en el proyecto de la Ilustración, una sociedad de individuos racionales que puedan convivir como hermanos mayores de edad, sin tutelas jerárquicas, en instituciones republicanas como seres libres, iguales y fraternos (Domènech, 2019). Como sabemos, con el paso del tiempo, a medida que el programa inicial ilustrado revelaba algunas deficiencias colaterales, el proyecto emancipador fue ramificándose en diferentes modulaciones que denunciaban sus puntos ciegos y construían su bandera alrededor de su superación: el socialismo frente a la condición explotadora e irracional de la economía capitalista moderna, el feminismo frente a sus estructuras de opresión patriarcales o el pensamiento decolonial frente a su matriz eurocéntrica e imperialista. Como última anotación, la combinación de un proceso marcado por hitos políticos con una enorme onda expansiva histórica (la Revolución francesa en el siglo XIX y la Revolución rusa en el siglo XX) y la posibilidad de explotar la riqueza inaudita de los stocks energéticos de baja entropía de los combustibles fósiles dio a una parte importante de los mitos emancipadores modernos un tono utópico especialmente intenso.

Durante los últimos dos siglos casi todos, especialmente en las izquierdas, hemos habitado mitos políticos que, aunque fuera en un futuro lejano, trabajaban en pos de metas que incluían la posibilidad de abolir instituciones como el Estado, el patriarcado, el conflicto social y la guerra, el fenómeno económico como gestión de la escasez, el mercado capitalista, y en sus versiones más extravagantes incluso la condición terrenal de la humanidad, que quedaría atrás con la exploración del espacio exterior o hasta la mortalidad biológica (como hoy defiende el transhumanismo más extravagante). Resulta imposible pensar el proyecto emancipador moderno sin dar cuenta de que en él subyace una pulsión utópica especialmente fuerte que, como ha investigado Ernest Garcia (Garcia, 2021), comparte la siguiente axiomática: i) no existen límites ni males naturales; ii) los males humanos tienen su origen en instituciones socialmente defectuosas; iii) la transformación de las instituciones, su corrección o racionalización, abrirá una etapa de progreso social potencialmente infinito y dará lugar a una etapa evolutiva superior (llámese comunismo como fin de la prehistoria de la humanidad o paz perpetua).

El núcleo fuerte de la propuesta de Georgescu-Roegen

¿Cómo impacta la revolución científica de Georgescu-Roegen en esta nebulosa de ideas utópicas tan constitutiva de las sociedades modernas y sus propósitos últimos? El núcleo de la propuesta de Georgescu-Roegen podríamos condensarlo en la siguiente frase: “Toda nuestra vida económica se alimenta de baja entropía” (Georgescu-Roegen, 1996: 348). “No se puede conseguir nada si no es a un coste mayor en términos de entropía” (Georgescu-Roegen, 1996: 351). De ello se deriva una concepción del proceso económico radicalmente contraria al paradigma mecanicista dominante en economía, donde las relaciones de producción e intercambio son conceptualizadas desde una idea de locomoción, y por tanto de reversibilidad, en un sistema circular cerrado y aislado, exento respecto a la naturaleza. Como recuerda Georgescu-Roegen, “el pensamiento económico moderno se ha ido alejando no solo de

la ley de la entropía, la más económica de las leyes físicas, sino incluso del viejo principio de William Petty" (Georgescu-Roegen, 1996: 352). Recordemos que Petty hizo célebre el dicho de que el trabajo era el padre de la riqueza y la naturaleza la madre. Pero este olvido de la naturaleza no es la única omisión problemática del paradigma económico dominante: Georgescu-Roegen nunca se cansó de señalar que la economía convencional también se concebía como exenta respecto a la sociedad y la importancia de los factores culturales en las decisiones de producción, distribución y consumo. Un esquema teorético, el de la economía convencional, que en el fondo no es sino la primacía de un prejuicio social e históricamente situado: la universalización de un rasgo institucional y específico propio de "las grandes colectividades urbanas de las sociedades industriales" (Georgescu-Roegen, 1996: 399).

En La ley de entropía y el proceso económico Georgescu-Roegen señala toda una serie de errores derivados del paradigma económico mecanicista imperante: desatención al problema de la superpoblación y recursos, exceso de confianza en el rol "curalotodo" de la educación de masas o estrategias de desarrollo falaces e inviables para las naciones periféricas (Georgescu-Roegen, 1996: 352). Todos estos errores comparten un mismo tipo de miopía paradigmática en la conceptualización del valor económico: aunque la disponibilidad de baja entropía no explica la totalidad del valor económico, cuyo componente cultural es innegable, es una precondición física indiscutible del mismo. Las implicaciones para el pensamiento económico de las tesis de Georgescu-Roegen son abismales. Por ejemplo, la conceptualización del factor tierra como agente productivo en sentido estricto del término (Georgescu-Roegen, 1996: 298), sentando las bases de lo que Naredo ha llamado después la falacia ideológica de la idea producción, que niega el papel fundamental de la naturaleza como "socio silencioso" en la creación de la riqueza socialmente útil (Naredo, 1987). O la constatación de que el "el crecimiento no puede concebirse más que como el paso de un estado estacionario a otro" (Georgescu-Roegen, 1996: 293). Pero lo que se abordará a continuación son las implicaciones de estas tesis para el programa emancipador moderno y su perfil utópico.

Tres impactos en la línea de flotación

de la utopía moderna

Señalo tres ideas cuya veracidad impacta directamente en la línea de flotación de los mitos utópicos modernos.

La primera es la idea de irreversibilidad, o como perfila mejor Georgescu-Roegen, de irrevocabilidad. En sus propias palabras, "enfrentada, en el futuro lejano, al inminente agotamiento de los recursos minerales, la humanidad —podría alguien pensar tranquilamente— volverá sobre sus pasos. La idea pasa por alto que, al ser la evolución irrevocable, en la historia no puede volverse sobre los pasos" (Georgescu-Roegen, 1996: 378).

La segunda, derivada de la anterior, es la de escasez como condición ontológica de la vida humana: "Si el proceso entrópico no fuese irrevocable, difícilmente se produciría la escasez" (Georgescu-Roegen, 1996: 51). Pero como este proceso entrópico es una de las leyes fundamentales del universo, la escasez es un telón de fondo incuestionable, por más que podamos retrasar sus impactos y modularla en función de nuevas relaciones entre medios y fines. Incluso en el grado mínimo de impacto entrópico que podamos imaginar "tal y como nos enseña ahora la ley de la entropía ¡será verdaderamente un milagro incluso hacer crecer una brizna de hierba en el mismo lugar año tras año!" (Georgescu-Roegen, 1996: 375).

La tercera es un corolario de la segunda: el conflicto social como un fenómeno estructural irresoluble, que está más allá de la intencionalidad y la conciencia humana. Y que además alcanza unas dimensiones transgeneracionales que derriban buena parte de los lugares comunes en los que hemos asentado nuestra reflexividad moral: "El máximo de cantidad de vida exige una tasa mínima de agotamiento de los recursos naturales" (Georgescu-Roegen, 1996: 67). Puesto que la vida, inevitablemente, acelera la degradación entrópica del sistema en su conjunto, todo uso de recursos naturales para satisfacer necesidades no vitales lleva consigo una menor

cantidad de vida en el futuro. De aquí podemos extraer esa máxima tan impactante de Georgescu-Roegen por la cual cada nuevo coche producido hoy se hace a costa de una vida humana menos en un futuro: “Si entendemos bien el problema, el mejor empleo de nuestros recursos minerales de hierro es producir arados o gradas según se precisen, pero no Rolls-Royce, ni siquiera tractores agrícolas” (Georgescu-Roegen, 1996: 67). Por supuesto, lo que funciona para los coches funciona para cualquier otra necesidad no vital a las que somos tan propensos colectivamente. “Los caballos se comen a la gente” (Georgescu-Roegen, 1996: 376), dice un refrán del campesinado rumano que Georgescu-Roegen recoge en las páginas de su libro La ley de Entropía y el proceso económico. Cuánta gente no se comerán nuestros coches, nuestros aviones, nuestros dispositivos móviles… y no solo gente no nacida, sino gente que ya está aquí, compartiendo este pequeño planeta con nosotros, con sus dos únicas fuentes de baja entropía: el flujo solar y los minerales concentrados en la corteza terrestre.

El talón de Aquiles de la agricultura industrial

Toda esta problemática la concentra Georgescu-Roegen en un asunto que cobra mucha importancia en su reflexión, y es uno de sus hilos de Ariadna: el problema potencial de la superpoblación futura bajo un sistema agroindustrial global, que permite alimentar a una población humana creciente “solo desde un punto de vista oportunista” (Georgescu-Roegen, 1996: 377). Aquí encuentra Georgescu-Roegen el talón de Aquiles de la civilización industrial, esa gran derrochadora de baja entropía, en un argumento malthusiano que vuelve a situarnos en un punto del debate necesario: aquel en el que malthusiano deja de ser un adjetivo calificativo, un insulto como argumenta Ernest Garcia, para convertirse en una aproximación necesaria a una contradicción tan irresoluble como urgente (Garcia, 2021). Pues como afirma Georgescu-Roegen, aunque podamos aumentar el número de habitantes sobre el planeta, las leyes de la termodinámica nos enseñan que las dos grandes preguntas de la seguridad alimentaria

seguirán esperándonos a la vuelta de la esquina: cuántos humanos podremos alimentar y, sobre todo, por cuánto tiempo podremos hacerlo. Por supuesto, Georgescu-Roegen acepta que el debate sobre la superpoblación es inseparable del debate respecto al superconsumo (y toda su obra tiene un componente de denuncia redistributiva a los lujos innecesarios que dilapidan nuestro capital de baja entropía). Tan cierto es que resulta falaz, y socialmente cruel, hablar de superpoblación sin entrar a debatir cómo se reparten los consumos mundiales de esa población, o cuál es la modulación cultural de la vida buena y su impacto ecológico (posición que se podría resumir en el lema "no sobran personas, sobran conductores") como que nuestro planeta presenta limites objetivos infranqueables que ni el más igualitario proyecto de comunismo podría traspasar sin hundirse en el colapso ecológico.

La cuestión de la agricultura la analiza Georgescu-Rogen además introduciendo otro factor que también desmonta las ideas un poco ingenuas que el proyecto utópico emancipador moderno ha esbozado sobre el fin de la separación campo-ciudad: por imperativo entrópico existe una conexión directa entre el esplendor urbano y el sufrimiento campesino. Si nuestra época ha permitido mitigar esta fuente de conflicto sempiterna ha sido por la explotación de los stocks energéticos y minerales de baja entropía, especialmente combustibles fósiles. Pero reequilibrar el peso del homo agricola frente al homo faber y el homo smartphone en un futuro posfosilista (un contrapeso estructural imprescindible para dar una respuesta al problema latente de la superpoblación) no podrá llevarse a cabo sin fuertes tensiones políticas entre campo y ciudad.

Contra los peligros de la aritmomanía ecologista

En este punto quiero abrir un pequeño paréntesis para calibrar bien la aportación de Georgescu-Roegen. Aunque sus tesis pueden sonar más o menos familiares al ecologismo medio, Georgescu-Roegen evita uno de los errores más comunes del pensamiento ecologista: el

reduccionismo y el determinismo que, en el fondo, operan en posiciones que hoy están muy en boga, como el colapsismo, que como ya he definido alguna vez, entiende el colapso como un Estado fallido, como un hecho histórico consumado. Como afirma Grinevald en el fantástico prólogo de la primera edición en castellano del gran libro de Georgescu-Roegen, no se puede confundir en ningún caso la propuesta del economista rumano con la de alguien como Howard T. Odum, que publicó sus investigaciones a la par, aunque en el contexto de recepción de ambos libros (la primera crisis del petróleo desde finales de 1973) se pusieran de moda los planteamientos de la energética social y se confundiera la obra de Georgescu-Roegen dentro de este enfoque. Georgescu-Roegen es taxativo cuando afirma que "ningún sistema de ecuaciones puede describir un proceso evolutivo", ya que el cambio cualitativo "no se puede conocer de antemano" (Georgescu-Roegen, 1996: 63). Del mismo modo que Georgescu-Roegen afirmaba que el eslogan "todo es química" era uno de los eslóganes más pobres concebibles, porque impedía entender las propiedades emergentes de los sistemas (Georgescu-Roegen, 1996: 58-59), hoy podríamos decir lo mismo de aquellas posiciones ecologistas que, de modo explícito o implícito, operan pensando que todo es energía.

Este respeto escrupuloso por la indeterminación que introducen las propiedades emergentes de lo social y de lo cultural explica en parte la posición de Georgescu-Roegen respecto al informe Los límites del crecimiento publicado en 1972, un año después que La Ley de Entropía y el proceso económico: aunque valora las aportaciones del documento al debate económico, lo defiende frente a la crítica feroz e infundada de los economistas convencionales, y cita a Leonard Silk para afirmar "que sería una locura ignorar las advertencias generales del estudio" (Georgescu-Roegen, 1975: 811), también considera que la "rígida naturaleza de los modelos aritmomórficos usados son incapaces de predecir los cambios evolutivos que estas relaciones pueden sufrir en el tiempo" (Georgescu-Roegen, 1996: 810). Y añade: "La especie humana, entre todas, no va a caer de pronto en un corto estado de coma. Su fin no se ve aún en lontananza, y cuando venga será después de una serie muy larga de crisis subrepticias y prolongadas" (Georgescu-Roegen, 1996: 811). En definitiva, las advertencias de Georgescu-Roegen contra la aritmomanía y el espíritu geométrico que aspira a

predecir cuándo y cómo va a ocurrir un proceso social nos vacunan también contra las tendencias colapsistas del ecologismo moderno.

Un jarro entrópico de agua fría

Pero que Georgescu-Roegen no comparta la idea de un desplome súbito e inminente de la civilización industrial no significa, ni mucho menos, que maneje una apuesta histórica afín al progresismo optimista. Al contrario. Toda su obra está empapada de cierta tonalidad melancólica y áspera, tan penetrante como conmovedora, que rompe con el clima afectivo esperanzado y cálido del mito utópico moderno. Ya hemos comentado lo desestabilizador que resulta, a nivel moral, su certificación de que la vida humana no puede desligarse de un conflicto intergeneracional profundamente desgarrador que nos exige elegir entre lujos presentes y vidas futuras. Conflicto que es desgarrador porque, sobra decirlo, la supervivencia pura sin ningún atisbo de lujo es un horizonte distópico que, como afirma Ernest Garcia, conocemos bien y no resulta en absoluto deseable: el campo de concentración. Cae como un jarro de agua fría aceptar que el conflicto social en general, no solo el intergeneracional, no es histórico, sino que tiene raíces biofísicas y termodinámicas irresolubles. En el mismo sentido, resulta también sombría la perspectiva de Georgescu-Roegen de que esta raíz termodinámica del conflicto social se deriva que en toda sociedad compleja habrá división entre grupos sociales productivos y elites improductivas. Estas últimas, afirma Georgescu-Roegen con un toque de lucidez y sabiduría profunda donde resuenan ecos del antiintelectualismo propio del populismo agrario del siglo XIX, “compuestas en sentido amplio solo de literatos” (Georgescu-Roegen, 1996: 386). Para Georgescu-Roegen las luchas ideológicas solo pueden hacer circular las elites y los mitos que las justifican, pero no transformar la estructura de dominación en sí misma. Que por cierto, para él siempre tendrá un componente asfixiante, cuyo destino histórico es trágico, pues una elite rural divorciada de los intereses urbanos es una imposibilidad lógica.

Del mismo modo, Georgescu-Roegen considera que el "actual espasmo biológico de la especie humana" (con esas palabras llama al proceso de la Gran Aceleración metabólica en la que se vio inmensa la humanidad tras la Segunda Guerra Mundial), que está "destinado a tener un impacto sobre nuestra futura organización política", y del que "las guerras a tiros y las agitaciones políticas que han salpicado el globo terráqueo con espantosa frecuencia durante la historia reciente son solo los primeros síntomas" (Georgescu-Roegen, 1996: 380), no permite ninguna más que una anticipación reformista muy modesta. La ciencia nos ayudará a prever y a comprender, pero en varios pasajes Georgescu-Roegen afirma que será la necesidad la maestra del cambio: "La comprensión de estas verdades no va a hacer que el hombre se muestre dispuesto a ser menos impaciente y moderar sus deseos. Solo la necesidad directa le obligará a comportarse de un modo distinto" (Georgescu-Roegen, 1996: 67).

Y es que Georgescu-Roegen es profundamente escéptico sobre las posibilidades de la acción autorreflexiva: "Ningún ojo puede verse a sí mismo, ningún corredor puede adelantarse a sí mismo" (Georgescu-Roegen, 1996: 238). Y sospecha que las pulsiones utópicas que buscan propiciar un salto cualitativo en la capacidad de anticipación y planificación humana, una autorreflexividad social superior, entre ellas el socialismo, solo pueden hacerlo a costa de presionar la naturaleza humana en pos de convertirnos en aquello que no somos: insectos sociales. "La plena identificación de todos los miembros del monolito controlado [la sociedad] con el macrofín nos hace recordar naturalmente a otras criaturas que viven en sociedad, incluidas las abejas, las hormigas y las termitas" (Georgescu-Roegen, 1996: 425). Esto es, con formas de vida social donde la producción se logra a través de una división endosomática y no exosomática del trabajo. Y, por tanto, sin conflicto interpretativo sobre la penumbra dialéctica de los significados ni conflicto distributivo sobre la cuota de renta social anónima que produce el excedente cooperativo. Una empresa, para Georgescu-Roegen, destinada al fracaso por la resistencia de la naturaleza humana a sus imperativos, y cuya persecución solo puede generar males sociales peores que el caos y la anarquía que pretende remediar.

Por tanto, según Georgescu-Roegen la realidad entrópica del universo impone una condición humana que lejos de ser infinitamente perfectible, como presuponía el horizonte utópico de la modernidad, presenta profundas limitaciones al respecto. Desde esta perspectiva, al calor de nuestra extralimitación ecológica, será muy difícil que el siglo XXI sea otra cosa que un duro reajuste respecto a los límites de nuestro planeta. Un frenazo tan colosal como turbulento, pues según Georgescu-Roegen, "siendo la esencia humana la que es, el destino de la especie está en elegir entre una carrera verdaderamente grande, aunque breve, no una larga y monótona" (Georgescu-Roegen, 1996: 378). Precisar qué pueden significar las palabras frenazo o reajuste, qué hechos concretos engloban, es enteramente otra cuestión, quizá la cuestión fundamental. Pero la obra de Georgescu-Roegen no permite albergar demasiadas ilusiones al respecto.

No obstante, Georgescu-Roegen no cae en un pesimismo antropológico absoluto. Por el contrario, siempre deja abierta la puerta del cambio cualitativo que sí o sí vamos a conocer en forma de variabilidad de opciones y procesos emergentes. Cambio que además podemos estimular si las sociedades humanas ponemos encima de la mesa la pregunta del para qué, la pregunta de las causas finales que nos motivan, pues "el hombre se mueve también por su visión de futuro" (Georgescu-Roegen, 1996: 247). Y estas visiones de futuro que nos guían pueden adoptar muchas formulaciones culturales distintas, con impactos entrópicos muy diferentes. Aunque todas ellas implican, de algún modo "que la realización de nuestras intencionalidades nos lanza a un viaje sin retorno" (Georgescu-Roegen, 1996: 256), este viaje sin retorno podemos retrasarlo, podemos rodearlo, podemos demorarnos en el camino, en un punto medio entre la carrera rápida y fulgurante que nos ha llevado al Antropoceno y esa monotonía larga e insulsa poco compatible con nuestras pulsiones profundas.

La rebaja de las expectativas utópicas

de la modernidad

En resumen, la obra de Georgescu-Roegen fundamenta una rebaja general de las expectativas utópicas del pensamiento emancipador moderno, cuyos presupuestos básicos, recordemos, son que no existe el mal natural, solo el mal social, y que (en su versión socialista) la propiedad común y la distribución igualitaria perfeccionarán la sociedad hasta el punto de que la escasez se volverá suprimible y, por extensión, suprimibles también los problemas sociales y las instituciones que se derivan de su gestión. Por tanto, el examen de la sostenibilidad es una tarea que necesariamente llevará aparejada una importante contención de nuestra pulsión utópica respecto a los marcos mitológicos heredados.

Así, por ejemplo, Georgescu-Roegen fue profundamente crítico con la utopía de la colonización espacial, que en su época operaba con una fuerza simbólica arrolladora tras el hito del programa Apolo. En ese sentido, afirmaba que no debíamos hacernos demasiadas ilusiones al respecto pues, aunque "el otro día lanzamos un boomerang, por así decirlo, alrededor de la luna con tres hombres cabalgando sobre él, nos sigue llevando aproximadamente el mismo tiempo que en el antiguo Egipto cultivar una planta de arroz a partir de una semilla de arroz" (Georgescu-Roegen, 1996: 373). Al otro lado del telón de acero, aunque Georgescu-Roegen reconoce que Marx es uno de sus autores de cabecera con el que le gusta discutir, también fue esencialmente beligerante con los postulados de la utopía comunista. De hecho, las conclusiones fundamentales de su obra son una refutación de la axiomática básica del utopismo socialista. Si la abundancia es ontológicamente imposible, no habrá jamás comunismo poseconómico y, por tanto, igualación ascendente de los niveles de vida. Tampoco abolición material del conflicto redistributivo, que deberá ser perennemente regulado por instituciones coercitivas y desestimulado desde esas coordenadas morales que Marx, en su materialismo fuerte, dejó en segundo plano. Ni automatización total que permita la abolición del trabajo entendido no como empleo, sino como un esfuerzo colectivo impuesto por el principio de realidad sobre el principio del placer. Si la racionalidad autorreflexiva integral es un espejismo, no habrá nunca ninguna planificación social coherente sin puntos de sombra

que se pueda permitir algo así como la abolición del mercado. Si la armonía social está más allá de las posibilidades de un animal que ha basado su desarrollo evolutivo en instrumentos exosomáticos y, por tanto, en un excedente social anónimo y disputable, entonces jamás conoceremos la abolición del Estado en sociedades complejas. Si el progreso no es la dirección ontológica ascendente del fenómeno humano, no se tiene por qué conceder a ningún grupo social como el proletariado la posición históricamente privilegiada de cumplir esa promesa mesiánica. En definitiva, Georgescu-Roegen suma argumentos difíciles de rebatir sobre la obsolescencia de la filosofía de la historia inherente al mito político utópico que promovió el materialismo histórico. Porque una de las conclusiones a la que debe llegar cualquier lectura no dogmática de La ley de la entropía y el proceso económico es que muchas instituciones que el materialismo histórico nos enseñó a entender no solo como transitorias, sino como inminentemente caducas, presentan por el contrario un fuerte arraigo en nuestras condiciones ontológicas.

Una salida: el placer de vivir a escala humana

¿Más allá de la refutación negativa de lo que ya no está a nuestro alcance, resulta Georgescu-Roegen un autor estéril a la hora de reformular un horizonte utópico positivo acorde a los retos de un siglo XXI marcado por la "Gran Prueba", en palabras de Jorge Riechmann, que supondrá reintegrarnos dentro de los límites biofísicos de nuestro planeta? No necesariamente. Si bien la obra de Georgescu-Roegen vuelve repentinamente ingenuas muchas de las posiciones utópicas fuertes del proyecto emancipador moderno, no está exenta de formulaciones que podríamos considerar propias de un utopismo débil, que se hacer cargo de esa tarea que Bloch resumía como "confiar en lo mejor, que está en trance de gravidez, a fin de que se logre" (Bloch, 2007: 402). ¿Qué es lo mejor que cabe esperar a partir de la lectura de la obra de Georgescu-Roegen?

En lo ecológico, es sabido que, a diferencia de su discípulo Herman E. Daly, Georgescu-Roegen fue contrario a las tesis de la economía

de estado estacionario, defendiendo posiciones que hoy podrían solaparse con las del decrecimiento. También se mostró favorable a un tipo de políticas de desarrollo que negaran la centralidad del impulso industrial y urbano en la política económica y, aunque no pudieran solventarla, minimizasen el sufrimiento y la injusticia inherentes a la tragedia campesina. En el marco de la Guerra Fría, siempre defendió la paz. Aunque se mostró alarmado ante el callejón sin salida que suponía la democratización de los estilos materiales de vida de las elites, que él simbolizaba en las medias de seda (que en el siglo XVI solo se podía permitir la Reina de Inglaterra y en el siglo XX el conjunto de las obreras inglesas), siempre fue partidario de una economía popular que redistribuyera lo suficiente como para asegurar a todos los seres humanos vivos la cobertura de sus necesidades básicas, algo que seguramente pasaba por dejar de exportar como referente universal el modelo de necesidades culturalmente desquiciado de los centros urbanos industriales al resto del globo. Y todo este horizonte difuso de cambio a mejor lo apuntaló siempre con una noción que merece la pena ser recordada por su potencial transformador: “El verdadero producto del proceso económico es un flujo inmaterial: el placer de vivir” (Georgescu-Roegen, 1996: 64). Modificar los marcos culturales que definen el placer de vivir en lo que respecta a cómo consumimos, cómo disfrutamos y cómo trabajamos (consumos más cualitativos que cuantitativos, ocio inmaterial, trabajo más estimulante y no ligados a la producción por la producción) puede dar lugar a una de esas mutaciones evolutivas que nos permitan imponer un rumbo distinto a nuestra crítica coyuntura histórica.

Finalmente, son varios los puntos de crítica que se podrían introducir al planteamiento de Georgescu-Roegen. Como línea general, una lectura de la entropía entendida desde la biología y no desde la física seguramente tenga connotaciones sustancialmente diferentes, por las cuales la naturaleza de los procesos vivos no es entrópica sino neguentrópica y trabaja siempre en pos de un clímax armónico. Otra es que Georgescu-Roegen lee a Marx desde la lectura tradicional predominante del marxismo oficial de la época, que confundía en Marx los planos histórico y ontológico del valor, entre otras cosas porque Marx tampoco lo dejó muy claro. Desde la perspectiva ontológica del valor la crítica de Georgescu-Roegen es correcta: el trabajo no es la única fuente de generación de valor

económico en sentido genérico y su esquema fondo-flujo enriquece sustancialmente la visión marxista. Pero lo interesante de Marx es la lectura histórica específica del valor como forma de riqueza social exclusiva de la sociedad capitalista que genera una dinámica estructural única en la historia, y sin la cual seguramente la particular velocidad de la degradación entrópica capitalista permanezca incomprensible. Y las posibilidades y los retos de una transformación hacia sociedades sostenibles oscurecida.

Quiero concluir este texto con un aforismo poético maravilloso de Jorge Riechmann. En Graffitis para neandertales podemos leer: "Y toda la grandiosa tierra de Utopía / menguó, se fue achicando / hasta quedar en algo tan modesto como: escala humana" (Riechmann, 2019: 60). Georgescu-Roegen es un autor que fundamenta la necesaria trasformación del proyecto emancipador moderno en algo necesariamente más modesto, tal y como apunta este aforismo. No solo en los fines: también más modesto en los medios. Frente a la pulsión prometeica que sigue animando muchos impulsos políticos del ecologismo, Georgescu-Roegen nos aconseja lo siguiente: "Sin duda el crecimiento actual debe cesar. Es más, debe revertirse. Pero cualquiera que crea que puede esbozarse un esquema para la salvación ecológica de la especie humana no comprende la naturaleza de la evolución, o aun de la historia, la cual es una permanente lucha en formas constantemente nuevas, no un proceso físico-químico predecible, controlable, como cocer un huevo o lanzar un cohete a la luna" (Georgescu-Roegen, 1975: 814).

Esta es una tarea crítica que en el siglo XXI que todavía está muy en pañales. Con Jorge Riechmann, Adrián Almazán y Carmen Madorrán escribimos hace unos años un libro, Ecosocialismo descalzo, donde bosquejábamos algunas tentativas para empezar a hacernos cargo de ella. Mi texto, "Los frutos podridos de la economía política", se cerraba con estas palabras:

A diferencia de Hans Jonas, que consideraba clausurado el papel histórico de la utopía, no defiendo que en el ecosocialismo descalzo la tensión utópica del proyecto emancipatorio deba descargarse. Solo modularse a un marco de condiciones materiales más estrecho. La utopía hoy tiene más que ver con construir esa sociedad orgánica

que Mumford aventuró como una suerte de Neolítico cosmopolita que con el superhombre devenido en ciborg, el paraíso en la Tierra que cantaba la Internacional, o a la construcción de situaciones que preconizaba la Internacional Situacionista. Quizá, como Ulises, al final de la odisea modernizadora no nos quede más remedio que llorar emocionados, ante una Ítaca "verde y humilde". Quizá, como sugería Camus, tenemos que admitir "el tiempo de la historia hecho con el tiempo de la cosecha" (Santiago Muíño, 2018: 304).

Además de para pensar la economía de otra manera, La ley de la entropía y el proceso económico es un libro que me permite hacer una afirmación como la citada sin llevarse a demasiados engaños. Una afirmación que, volviendo a Bloch, permita cruzar una mirada fría, que no se deje engañar, con una mirada cálida que no se deje desilusionar.

‘¿Una vida corta pero extravagante?’ Implicaciones morales de la bioeconomía de Nicholas Georgescu-Roegen[60]

Luis Arenas

Una vez extendidos los poderes biológicos por medio de los artefactos industriales, el hombre se hizo, ipso facto, no solo dependiente de una fuente muy escasa de mantenimiento de la vida, sino que también se hizo adicto a los lujos industriales. Es como si la especie humana pareciera decidida a llevar una vida corta pero extravagante. ¡Dejemos que las especies menos ambiciosas lleven una larga y aburrida existencia!

(Georgescu-Roegen, 2021: 51)

La obra de Nicholas Georgescu-Roegen es el desmentido más rotundo a la lógica de la especialización de los saberes que domina la ciencia contemporánea. Es imposible limitar el alcance de su contribución al ámbito de una ciencia en particular, pues quien alcanza a comprender las implicaciones que de ella se deducen, enseguida constatará que sus ideas desbordan rápidamente el marco restringido de una ciencia en particular (sea la matemática, la econometría o la termodinámica) para dejar a la vista las implicaciones que tienen en campos como el de la demografía, la política, la filosofía, la ecología y la ética. Es, precisamente, esta última cuestión a lo que este capítulo pretende atender: a algunas de las implicaciones éticas que se derivan de las aportaciones científicas de Georgescu-Roegen: ¿qué consecuencias en el terreno de la moral humana cabría extraer de la bioeconomía de Nicholas Georgescu-Roegen? Para ello es importante recordar brevemente el núcleo básico de su teoría.

Algunas implicaciones morales de una aproximación bioeconómica al intercambio económico

Reducida a sus aspectos más básicos, la gran contribución de Georgescu-Roegen fue la de tratar de comprender el proceso económico antes que bajo su aspecto social, bajo su consideración de mera realidad física. El intercambio económico es un caso particular de intercambio físico. De acuerdo con esta perspectiva, el proceso económico, visto por así decir desde fuera del campo antropológico, consistiría en la transformación de estados físicos de baja entropía en estados físicos de alta entropía. El acto económico por antonomasia, el acto de consumir es, desde el punto de vista termodinámico, un proceso metabólico que contribuye a garantizar la vida del organismo, pero esto lo hace a costa de aumentar inevitablemente la entropía del universo. De este principio, obvio y elemental, pero que la economía clásica había ignorado desde sus inicios, se derivan de una manera tan simple como insoslayable una serie de consecuencias trascendentales. Y esas consecuencias tienen implicaciones morales de largo alcance. Me limitaré a señalar tres de las más relevantes.

La primera de esas consecuencias es que, en un sistema (casi) termodinámicamente cerrado en lo que a materiales se refiere como es la Tierra, acelerar el proceso económico (consumir más y más rápido) es reducir a la misma velocidad la energía y los recursos disponibles en el futuro. En efecto, consumir —que en términos bioeconómicos consiste en transformar recursos (de todo tipo) en satisfacción de necesidades y producción de desechos (de todo tipo) — implica en términos termodinámicos acelerar la entropía del sistema. En determinadas circunstancias parte de esos desechos pueden ser convertidos nuevamente en recursos —algo que dependerá de la eficiencia del sistema y su proximidad al ideal de una economía circular—, pero lo que la segunda ley de la termodinámica nos enseña es que hay otra parte que se convertirá inevitablemente en energía disipada o no disponible, una energía que seguirá existiendo (primer principio de la termodinámica), pero resultará definitivamente indisponible a efectos de su utilización. El aumento de esta energía disipada es exactamente la medida de la

entropía de un sistema.

Una segunda consecuencia inevitable que se deriva de ese principio y que conecta el proceso económico con la termodinámica es que un aumento en el número de organismos vivos de un sistema cerrado implica irremediablemente un incremento de la entropía de dicho sistema, en tanto que la vida es un acelerador de la degradación entrópica de los sistemas. Parafraseando al propio Georgescu-Roegen (1977c) cabría decir: "Matter matters", pero "demography matters, too". En relación con esta variable demográfica, aparece el concepto de capacidad de carga de un sistema o hábitat, entendido como el número de individuos que un entorno puede soportar sin efectos negativos significativos para el organismo dado y su entorno. Si nos limitamos, por mor de la simplificación, a la población humana del planeta —algo que de entrada está lejos de ser evidente, pues deja fuera a otros potenciales objetos de consideración moral como podrían ser los animales—, la conexión entre el número de organismos y la entropía supone cobrar conciencia de las implicaciones ecológicas que tiene el aumento demográfico de la población humana del planeta. Por supuesto que esta capacidad de carga está determinada por multitud de factores, entre ellos la huella ecológica de los individuos[61], pero de nuevo la consecuencia que se deriva es inevitable: en términos ecológicos el tamaño (de la población humana) sí importa.

Una tercera consecuencia es la que tiene que ver con la flecha del tiempo. Como todo proceso, el proceso económico implica una serie de interacciones materiales que se extienden a lo largo del tiempo y cuyas consecuencias solo pueden ser medidas tomando en consideración esa variable temporal. Sin duda, esa variable admite muchas escalas. Sabemos que la chocolatina durará más cuanto más parsimoniosamente la comamos, pero también sabemos que por despacio que lo hagamos acabará por desaparecer a lo largo de la tarde y de ella no quedará más que el residuo de la envoltura. Del mismo modo sabemos que tal y como predice la teoría del Big Bang el universo se dirige inexorablemente al Big Freeze o muerte térmica y que su destino final será el de un universo frío, vacío y oscuro. Entre esas dos escalas, la inmediata y la cósmica, se encuentra el tiempo de vida que le quede a la especie humana, cuyo

futuro está garantizado durante un tiempo indeterminado que media entre después de esta tarde y bastante antes de que acontezca el Big Freeze. Pues bien, lo que la doctrina de Nicholas Georgescu-Roegen sugiere es que alargar o acortar ese indeterminado periodo de tiempo depende, aunque solo sea en una mínima parte, de nuestras elecciones.

Un modelo simplificado para tres escenarios posibles: alternativas políticas al desafío entrópico

Tenemos, pues, tres parámetros mutuamente interdependientes: consumo + población + tiempo. Lo que significa que, en términos morales, las opciones a las que se enfrenta la humanidad son básicamente estos tres escenarios posibles:

Podemos mantener (e incluso quizá aumentar) la población mundial y mantener (e incluso quizá aumentar) su consumo de recursos per cápita al precio de reducir (quizá incluso extraordinariamente) el tiempo de vida de la especie.

Podemos aumentar o mantener nuestro consumo de recursos per cápita y alargar el tiempo de vida de la especie al precio de reducir drásticamente el número de humanos en el planeta.

O podemos aumentar o mantener la población humana y el tiempo de vida de la especie al precio de reducir también de manera drástica nuestro consumo de recursos per cápita.

Lo que no podemos (al menos sic rebus stantibus) es aumentar los tres parámetros a la vez.

El primer horizonte (continuar aumentando el consumo y la población) podríamos llamarlo para simplificar el horizonte BAU

(business as usual). Este horizonte secretamente ansía que todo siga como hasta ahora, a pesar de los datos de degradación ecológica, cambio climático y agotamiento de los recursos que se acumulan por doquier. Este es el horizonte en el que de facto están instaladas las sociedades industriales modernas por mucho que en el plano de la autorrepresentación ideológica nuestras sociedades parezcan estar preocupadas por los discursos sobre la sostenibilidad, la transición energética o la sensibilidad ecológica. Nada de eso se ha traducido en los últimos 20 años en un cambio significativo de rumbo, lo que demuestra que, en la práctica, esta es la opción por la que parece que se inclinan mayoritariamente las sociedades industriales.

El segundo horizonte (aumento o estabilización de los actuales niveles de consumo para una población progresivamente menguante, sea por el control voluntario de la natalidad, las guerras por los recursos escasos o las catástrofes climáticas y la falta de alimentos) lo denominaremos el horizonte ecototalitario. Las versiones de este medioambientalismo autoritario apuestan por sociedades que reduzcan drásticamente su población (en las versiones de derechas), o sus niveles de consumo (en las versiones de izquierda), con un poder político que pueda imponer por la fuerza el racionamiento de los bienes básicos para parte o para toda la población y un gobierno en manos de unas elites que prioricen el compromiso con la conservación a largo plazo de la especie y la biosfera frente a los deseos particulares de los individuos.

Finalmente, el tercer horizonte (una reducción del consumo y/o de la población para garantizar las condiciones de vida de al menos los seres humanos que ya están entre nosotros y su descendencia) es el horizonte que llamaremos decrecentista. Primero ridiculizado y luego denostado como delirio idealista o reaccionario, poco a poco la doctrina del decrecimiento comienza a abrirse paso entre científicos y sectores de la sociedad civil. En 2019, más de 11.000 científicos firmaron un manifiesto en el que alertaban de la necesidad de “limitar rápidamente la excesiva extracción de materiales y la sobreexplotación de los ecosistemas, movidos por el crecimiento económico si se quiere mantener la sostenibilidad a largo plazo de la biosfera”[62]. El último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC,

2022) —lo que es tanto como decir: el consenso de la comunidad científica especializada en el cambio climático— incluía al menos 28 veces la palabra decrecimiento, por más que el término fuera finalmente eliminado en el resumen para políticos (Bordera et al., 2022). E incluso en foros como el New York Times, tan alineados con el mainstream económico, sus páginas de opinión comienzan a discutir abiertamente la necesidad de poner el decrecimiento en la mesa del debate público (cf. Bokat-Lindell, 2021). Pero, en todo caso, la posición del decrecimiento sigue siendo extremadamente minoritaria en el escenario de los debates sobre el futuro de las sociedades industriales.

Como toda modelización, el esquema que se acaba de presentar es ciertamente una simplificación, pues en cada uno de los escenarios las posiciones se multiplican. Por ejemplo, el que hemos denominado horizonte BAU puede conocer versiones moderadas como las del capitalismo verde, inspiradas en el Informe Brundtland y su idea del "desarrollo sostenible" (a saber, garantizar aquel desarrollo que "satisface las necesidades presentes sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" [WCED, 1987: 53]). Pero también podríamos incluir en este horizonte BAU posiciones de carácter radical como las del aceleracionismo. La complejidad ideológica que se esconde detrás de esta etiqueta es considerable: se podría hablar de un aceleracionismo de derechas (por ejemplo, el de Nick Land [Land, 2019]) y un aceleracionismo de izquierdas (por ejemplo, el representado por Alex Williams y Nick Srnicek [Williams y Srnicek, 2017: 33]). Pero lo cierto es que en ambos casos la apuesta es por una dinámica que, bien sea para superar el capitalismo, bien para fortalecerlo, invitan a acelerar e intensificar los procesos de desarrollo tecnológico y de intercambio global de mercancías[63].

Por su parte, la posición ecototalitarista puede declinarse igualmente en una versión oligárquica o en una comunitarista; en una nacionalista o en una internacionalista. Para simplificar, podríamos denominar ecofascismo neofeudal a la primera y medioambientalismo autoritario a la segunda. Del lado ecofascista encontramos aquellas posiciones que defienden políticas antiinmigración y el cierre de fronteras de los países desarrollados, apelando a la progresiva escasez de recursos. Este ecototalitarismo

incorpora una confusa mezcla de elementos de antiglobalización, ambientalismo, defensa de la naturaleza y nacionalismo extremo al que, en algunos casos, se añaden componentes de supremacismo blanco. Muchos de esos elementos estaban presentes en las posiciones de Trump y sus herederos (America First) y son las teorizadas por la nouvelle droite de Alain de Benoist o del Frente Nacional en Francia o por el ecologismo neofascista en Alemania (cf. Biehl y Staudenmaier, 2019: 59 y ss.), pero estaban ya presentes y de un modo muy acusado en los fascismos de mediados del siglo XX, especialmente en el caso del partido nazi[64]. En su versión abiertamente oligárquica, ese ecofascismo trabaja activa y silenciosamente a favor del proyecto cada vez menos disimulado de "emancipación de los ricos" con respecto al resto del mundo. La manera en que las elites del planeta —perfectamente conscientes de lo que se avecina— están tomando posiciones defensivas para blindarse ante un futuro de drástico descenso energético y turbulentos escenarios ambientales apunta a que este es el futuro por el que apuestan los dueños del mundo: ocupar las pocas plazas de los botes salvavidas, aun al precio de condenar al sufrimiento y quizá a una muerte segura al resto del pasaje. Por su parte, en las versiones ecofascistas próximas a la ecología profunda —las defendidas, por ejemplo, por autores como el finlandés Pentti Linkola— la garantía de continuidad de la especie y del planeta pasa por la reducción drástica de la población humana, su mantenimiento al nivel de mera supervivencia y la sustitución de la democracia por una dictadura gerontocrática dirigida por una elite de sabios[65]. La idea en este caso es clara: una vez aceptado que los recursos naturales disponibles no serán suficientes para mantener los estándares de consumo actuales, la alternativa pasa por limitar su acceso a esa pequeña parte de la población del planeta que son de los nuestros (un nosotros que se asume en muchos casos bajo su figura del wasp: blanco, anglosajón y protestante).

Pero también es posible detectar una versión de izquierdas de ese ecototalitarismo. Es la que vendría a defender la necesidad de una centralización del poder político de los Estados (y, en el límite, del gobierno del mundo) para hacer frente con rapidez y radicalidad a una crisis climática y ecológica cuyos tiempos de resolución resultan ya incompatibles con los tiempos de la deliberación democrática. En este lado ecototalitarista de izquierdas estarían

desde las clásicas fórmulas ecocomunistas defendidas en los años setenta por Wolfgang Harich (las de un "comunismo en estado estacionario"[66]), pasando por las críticas a los límites del liberalismo como ideología política capaz de hacer frente al desafío medioambiental[67], hasta las del ecologismo republicano de autores como Garrett Hardin, William Ophuls o Robert L. Heilbroner y su convicción de la imposibilidad de seguir coordinando la libertad individual de las democracias occidentales con el horizonte de escasez al que se acercan nuestras sociedades[68]. Asimismo, podrían incluirse bajo esta etiqueta las que, entre las filas de la izquierda ecologista alemana, proponen un principio meritocrático como base política alternativa a la democracia liberal (cf. Aydurmus, 2016; también, Shearman y Smith, 2007). En todos los casos, este ecototalitarismo de izquierdas parte de un diagnóstico semejante (la insuperable escasez de recursos y la imparable degradación de los ecosistemas), pero lo hace desde un horizonte universalista al apostar por soluciones que no dejen atrás a la inmensa mayoría de la población y garanticen el acceso a los recursos de la biosfera a las futuras generaciones. Sea como fuere, la convicción que domina en todos los casos es la misma: "Es tal la urgencia de la crisis ambiental que […] las formas de 'buen autoritarismo', en las que formas de comportamiento ambientalmente insostenibles estén simplemente prohibidas, puede llegar a ser no solo justificable, sino esencial para la supervivencia de la humanidad en cualquier cosa que se acerque a una forma civilizada" (Beeson, 2010: 289).

Por último, las posiciones que hemos caracterizado como decrecentistas admiten igualmente una gradación muy amplia. Pueden ir desde las perspectivas calificadas de suficientarismo[69] hasta las que en el límite apelan a la activa desaparición de la especie humana del planeta. En cuanto a las doctrinas que apuestan por la extinción del género humano como modo de garantizar el bien superior de la conservación de la biodiversidad del planeta, las posiciones irían asimismo desde la extinción pacífica y progresiva por medio de la renuncia a la reproducción (como el Movimiento por la Extinción Humana Voluntaria de Les U. Knight y su lema "May we live long and die out"), hasta la que apuesta por acelerar en la medida de lo posible el proceso (como en el caso de la Iglesia de la Eutanasia de Chris Korda y su lema: "Save the Planet: Kill Yourself"). Dejando de lado estas versiones extremas del

decrecimiento (en este caso de la especie y no solo de la economía), por lo que respecta al horizonte decrecentista, este está presente en muchas de las versiones del ecosocialismo que han renunciado al horizonte de la abundancia que presidía el pensamiento marxista en su origen. Las posiciones suficientaristas sostendrían la necesidad de un reparto de bienes económicos compatibles con una vida digna para la especie actual y futura, pero proscribirían lo que Veblen llamaba el consumo conspicuo u ostensible y el lujo ecológicamente irresponsable. La mayoría de estas apuestas ecosocialistas serían una variante del suficientarismo: aquella posición que defiende la necesidad de garantizar a la totalidad de los individuos un conjunto de bienes primarios para satisfacer las necesidades básicas que acompañan la vida humana y que sean compatibles con la continuidad de la especie y la conservación del medioambiente. La diferencia de este suficientarismo con respecto a lo que hemos llamado el medioambientalismo autoritario radica en su negativa a renunciar al principio democrático de organización del cambio social que necesariamente tendrán que enfrentar nuestras sociedades de cara a la transición ecológica. Pero incluso en este horizonte decrecentista ecosocialista las interpretaciones del poscrecimiento varían en sus detalles: desde el ecosocialismo descalzo que defienden autores como Manfred Max-Neef (1986) y Jorge Riechmann (Riechmann et. al., 2018) o la lujosa pobreza teorizada por Emilio Santiago Muíño (2014) hasta la concepción del decrecimiento como abundancia radical de teóricos como Jason Hickel (2019).

A pesar de este abigarrado panorama, el modelo de los tres escenarios recoge las posiciones básicas en que se desarrollará el debate en el futuro y, en todo caso, a nuestro juicio hace justicia a aquellas palabras de Nicholas Georgescu-Roegen que, por su sencillez y claridad, se clavan como un puñal en el cerebro del lector de su obra clave: “Si pasamos por alto los detalles, podemos decir que todo niño nacido ahora significa una vida humana menos en el futuro. Pero también, que todo automóvil Cadillac producido en cualquier momento significa menos vidas en el futuro” (Georgescu-Roegen, 1996: 377).

¿Una vida 'corta pero extravagante'

frente a una 'larga y aburrida existencia'?

Con ello, sin embargo, no hemos empezado siquiera a rozar el problema moral que plantean las ideas de Nicholas Georgescu-Roegen. Este adquiere la forma de una alternativa para la que quizá no haya una respuesta posible si no es al precio de hundirnos en compromisos últimos (metafísicos o religiosos) que probablemente están más allá de toda posible argumentación racional. Pues, en efecto, el gran dilema moral que enfrentamos exige, como Jorge Riechmann ha señalado, de una "moral de larga distancia o de largo alcance espacial, social, temporal y específico" (Riechmann, 2012: cap. 6), que tal vez supere los límites de nuestra miope mirada de simio parlante. Nicholas Georgescu-Roegen expresó ese dilema con la sencillez y la profundidad que tienen las preguntas verdaderamente filosóficas. La cuestión que enfrentaremos en el futuro tendrá probablemente esta forma: ¿Qué nos impide moralmente elegir como especie "una vida corta pero extravagante" frente a una "larga y aburrida existencia" (Georgescu-Roegen, 2021: 51)? La respuesta es probablemente: "Nada"[70]. O, por decirlo, con las palabras de Hans Jonas: "Sin incurrir en contradicción alguna conmigo mismo puedo preferir tanto para mí como para la humanidad un fugaz relámpago de extrema plenitud al tedio de una infinita permanencia en la mediocridad" (Jonas, 1995: 40).

Mi impresión —una impresión que no tengo ya espacio para argumentar— es que desde las premisas de la ética liberal y el horizonte del individualismo moderno será difícil resistirse a otra cosa que al cuerno extravagante y fugaz del dilema. Por su parte, quienes estamos dispuestos a aceptar que asumir esa larga y aburrida existencia es la solución moralmente correcta al dilema, creo que haríamos bien en reconocer con humildad que nuestra decisión está más acá del bien y del mal. Es esa convicción lo que sospecho que había detrás del hecho de que Jonas considerara esta apuesta por el cuerno parsimonioso del dilema como un axioma: algo "quizás imposible de justificar sin la religión" (Jonas, 1995: 40). Así que, para los que no nos queda el consuelo religioso, quizá

debamos verla, antes que nada, como la opción decidida por un regalo que sin obligación alguna hacemos a los que son hoy —como fuimos nosotros un día— meras posibilidades de existir. Y, como todo verdadero regalo que es auténtica donación y no mero anticipo rutinario de un beneficio futuro, algo que se hace sin esperar a cambio nada, salvo quizá el gozo de imaginar la felicidad de los obsequiados.

Georgescu-Roegen y la sociología: tres apuntes

Ernest Garcia

Georgescu-Roegen esbozó, de forma muy creativa, ideas de fondo acerca de tres temas fundamentales para la sociología: la comprensión del cambio social, la relación entre la organización social y las tecnologías energéticas y, por último, los condicionantes impuestos por la naturaleza a la estructura social. Con respecto al primero de ellos, insistió en la radical incertidumbre de la historia, como consecuencia de la imposibilidad de aplicar las leyes de la mecánica al devenir social. En lo que concierne al segundo, destacó el papel crucial de las que denominó tecnologías prometeicas, técnicas de producción de energía en las que descansan formas específicas de la civilización, recordando que han sido extremadamente escasas en la historia, pese a que la experiencia contemporánea de innovaciones múltiples aparecidas con suma rapidez alimente la ilusión contraria. En el tercer núcleo, mantuvo que la entropía y la evolución exosomática implican que la división social del trabajo y, en concreto, la división entre trabajo de ejecución y trabajo de dirección o de supervisión ha de estar presente en toda sociedad civilizada, sentando así las bases de una estructura de desigualdad no superable.

Puede suponerse que muchas de las personas que hayan leído La ley de la entropía y el proceso económico[71] habrán constatado con algo de sorpresa que, en sentido estricto, solo tres de sus once capítulos son predominantemente económicos. El capítulo 9 aborda específicamente la representación analítica del proceso económico, sacando a la luz las insuficiencias y distorsiones inherentes a los tratamientos habituales de la función de producción. El capítulo 10, en su primera mitad, entra en otro aspecto fundamental de la ciencia económica, la teoría del valor, formulando una versión general de la misma dentro de la cual las formulaciones existentes

(tanto la teoría del valor-trabajo como la del valor-utilidad) son solo casos particulares. La principal tesis del libro, la afirmación de que el proceso económico es lineal y entrópico en vez de circular y autosuficiente, una idea que subvierte la ortodoxia económica desde los cimientos, encuentra su expresión concreta en esos capítulos, pero se apoya en una extensa reflexión sobre el conjunto del conocimiento científico, que prolonga en múltiples direcciones los estudios juveniles del autor, anteriores de su conversión en economista. De esta manera, alguien que lo leyera sin conocer su contexto académico podría muy bien catalogarlo como un texto de filosofía de la ciencia, más concretamente de filosofía de las ciencias sociales, crítico con la fijación que los principales autores en este campo en el siglo XX han tenido con la física teórica. Y, ciertamente, se trata de una crítica filosófica de primer nivel del mecanicismo, no solo en economía, sino, en general, en las ciencias biológicas y sociales. Remontándose lo suficiente, podría incluso decirse que hay en el mismo, de manera no del todo implícita, una reivindicación de Pascal frente a Descartes.

Cabe preguntarse si todo eso tendrá algo que ver con el hecho de que La ley de la entropía y el proceso económico ha tenido una recepción insuficiente y desconfiada, que sigue limitando su impacto cincuenta años después de su publicación, pese a que su vigencia no ha disminuido y su actualidad es incluso mayor que entonces. La filosofía de la ciencia es una especialidad minoritaria y, dentro de la misma, la filosofía de la matemática y la filosofía de la evolución biológica son particularmente esotéricas. Pese a la popularidad de las paradojas de Zenón de Elea, de la historia de Aquiles y la tortuga, resulta bastante disuasorio hincar el diente a un libro que dedica una buena cantidad de páginas a discutir si es o no admisible la solución propuesta por Bertrand Russell al problema de las relaciones entre el continuo intuitivo y el continuo aritmético. Y es solo un ejemplo entre muchos que podrían aducirse. Se trata de una obra que, además de una objeción radical a las ilusiones del crecimiento económico, despliega inquietudes intelectuales de una amplitud oceánica y una diversidad desconcertante (incluyendo sutiles y muy bien informadas discusiones de, por ejemplo, la inteligencia artificial, la eugenesia o la clonación, ¡en 1971!). O, por abordarlo desde otra perspectiva, muchos de los nombres con mayor presencia en el índice

onomástico del volumen, como Whitehead, Poincaré o Bergson, no eran en 1971, ni lo son ahora, pensadores de consumo corriente, ni siquiera entre personas dedicadas a la filosofía, y menos aún entre las ocupadas en economía o sociología.

Dejando abierto todo esto, el resto de este trabajo se dedica a examinar brevemente tres puntos en que las aportaciones de Georgescu-Roegen, todas ellas con precedentes reseñables, contienen profundizaciones de notable agudeza y con muchos matices relevantes para la sociología:

Entropía, evolución y cambio social (en torno a la imposibilidad de predecir el cambio social y el alcance y límites de la aplicación de la evolución biológica a los fenómenos sociales).

Tecnología y sociedad (ahondando en el significado de las grandes innovaciones en la matriz energética de las civilizaciones y acuñando conceptos muy útiles para comprender adecuadamente las cuestiones que aparecen en ese contexto).

Escasez de los recursos naturales y sus consecuencias para la estructuración de las sociedades (contribuyendo con nuevos argumentos a las tradiciones sociológicas que han mantenido que ciertas formas de la desigualdad social y algunas dosis de conflicto constituyan un horizonte insuperable).

Por razones que se intentará resumir en las páginas siguientes, esas aportaciones, pese a ser escasamente discutibles en lo esencial, han resultado tan desconcertantes e incómodas para la sociología, si no más, como ha resultado serlo para la economía la insistencia en que todo proceso de producción es entrópico.

Entropía, evolución y cambio social

Sin duda el crecimiento actual debe cesar; es más, debe revertirse. Pero cualquiera que crea que puede esbozar un esquema para la salvación ecológica de la especie humana no comprende la naturaleza de la evolución, o aun de la historia, la cual es una permanente lucha en formas constantemente nuevas, no un proceso físico-químico predecible, controlable, tal como cocer un huevo o lanzar un cohete a la luna (Georgescu-Roegen, 1975: 814).

Una de las noticias introductorias de Georgescu-Roegen para el público lector en castellano fue una entrevista que el entrevistador tituló, con notable perspicacia, "ante la oscura incertidumbre de la historia". En dicha entrevista, a la pregunta de cómo imaginaba los próximos cincuenta años, el pionero de la economía ecológica dio la siguiente respuesta: "Yo creo que todo lo que se aventura en ese sentido tiene una gran probabilidad de ser desmentido por la historia. La historia es una sucesión de sorpresas que, eso sí, se justifican muy lógicamente una vez que aquellas han sucedido" (Wagensberg, 1979: 90).

Esa visión del cambio social, que pone el acento en la imposibilidad de anticipar con seguridad el futuro, no es, en modo alguno, insólita. Sin embargo, para la sociología ha sido siempre perturbadora, casi subversiva, pues en la sociología se ha perpetuado la huella de la ilusión fundacional que Auguste Comte inscribió en su catecismo positivista: "Saber para prever a fin de proveer" (1852, en el cuadro "Clasificación positiva de las dieciocho funciones interiores del cerebro o cuadro sistemático del alma", inserto entre las páginas 132 y 133). La figura del asesor, del intelectual-consejero, continúa planeando sobre una parte sustancial de la sociología aplicada, de la que los Gobiernos esperan respuestas sobre la aceptación ciudadana de las medidas que se han de tomar, a la que los políticos reclaman información sobre qué y por qué decidirán los votantes, en la que las empresas se apoyan para descubrir los caminos que conducen a la cartera de los consumidores… Por descontado, todas esas expectativas se verían reforzadas si la realidad social respondiera a la regla de oro del mecanicismo: "El conocimiento humano y el poder humano beben de la misma fuente, pues si no se conoce la causa, no puede

producirse el efecto" (Bacon, 1994 [1620]: 43). Resulta, sin embargo, que la realidad social no es dócil a tal regla. Georgescu lo recordó de una forma muy perspicaz y contundente.

La búsqueda de inspiración en la mecánica estuvo muy presente en los orígenes de la sociología. Podría decirse que los sociólogos de la primera mitad del siglo XIX desearon hacer con la sociedad lo que Newton había hecho con el sistema solar. Cuando Saint-Simon se propuso sentar los fundamentos de una ciencia social capaz de superar las ilusiones revolucionarias de los ideólogos dieciochescos, se acercó a la Escuela Politécnica para absorber ideas de los profesores de física con el fin de sentar los fundamentos de un proyecto "físico-político" (Saint-Simon, 1832: XX). Y la manzana de Fourier (1851: 17), la que debía iluminar sobre las relaciones entre los modestos productores campesinos y los opulentos negociantes urbanos, pretendió ser el equivalente de la que el cuento dice que llevó a Newton a descubrir la ley de la gravedad.

Aunque las analogías mecánicas no han desaparecido en la sociología actual, y de hecho siguen más vivas de lo que podría pensarse, el descubrimiento de que la aspiración a construir una física social podía ser desmedida fue también temprano. El propio Saint-Simon, al intuir que la física no tenía la clave para todas las respuestas, volvió a acercarse a la Escuela Politécnica, en esta ocasión para tener noticia de las lecciones de los fisiólogos. Algo parecido ocurrió con Comte, el frustrado profesor de astronomía, que acabó decantándose por el organicismo —por la analogía de la sociedad como organismo— y proponiendo a los médicos Bichat y Gall como modelos para fundamentar la sociología (Comte, 1851: 3).

La búsqueda de inspiración en la biología se acentuó en la segunda mitad del XIX, el gran momento del evolucionismo. El tiempo en que los sociólogos desearon ser como el Darwin que había descubierto la ley del desarrollo de la naturaleza orgánica, convirtiéndose en descubridores de la ley del desarrollo de la historia humana, por decirlo con las palabras de Engels ante la tumba de su amigo Marx. El evolucionismo social configurado en ese tiempo, a través de Spencer, de Morgan o del propio Marx, adquirió un tono marcadamente determinista, en el que la

connotación principal de la palabra evolución fue el sentido unidireccional del progreso.

Al igual que los sociólogos clásicos, el profesor de Vanderbilt invoca referentes de la física y de la biología. Sin embargo, a diferencia de ellos, se aleja de cualquier concesión a las versiones deterministas del evolucionismo social, porque se basa en la termodinámica y no en la mecánica: la descripción del proceso económico como ineludiblemente entrópico no solo lleva a reelaborar sustancialmente las categorías del análisis de la producción, indirectamente, añade a la percepción del cambio social algunos condicionantes que la tradición sociológica había ignorado. Y, también, porque construye una noción de evolución que está mucho más cerca de los criterios darwinianos que la versión más lineal y gradualista, digamos que más spenceriana, que ha marcado la historia de la sociología. Evolución, escribe citando a Lotka, "es la historia de un sistema que experimenta cambios irreversibles", a lo que apostilla: "En realidad, la palabra adecuada debería ser 'irrevocables'" (Georgescu-Roegen, 1996: 259).

Al afirmar que la termodinámica y la biología son las antorchas indispensables para iluminar los procesos sociales, Georgescu-Roegen reconecta con la aspiración a no separarse de las ciencias naturales que caracterizó los pasos iniciales de la sociología. En particular, levanta un muro frente al exencionalismo, frente a la creencia de que las leyes de la naturaleza quedan en suspenso cuando se trata de los asuntos humanos. Esta peculiar supervivencia del dualismo alma-cuerpo no ha sido nunca abandonada en la historia de la sociología. Su filiación puede rastrearse desde el Godwin para quien la ley de la gravedad era un mero gratis dictum, pasando por la convicción marxiana de que el avance de la historia liberaría definitivamente a los humanos del reino animal, y por la prescripción durkheimiana de tener en cuenta nada más que hechos sociales para explicar hechos sociales, hasta la afirmación de Bell, según la cual el juego contra la naturaleza y la limitación de los recursos son un problema importante solo para las sociedades preindustriales (me remito a los comentarios al respecto en Garcia, 2004: 33-58 y 2021: 191-193). Aunque las versiones extremas del exencionalismo —aquellas en las que la fe en el dominio del espíritu sobre la materia desemboca en un culturalismo insano,

manteniendo, por ejemplo, que hoy la naturaleza se ha convertido en una construcción social— son habituales pero no frecuentísimas, sí es muy frecuente la convicción de que la vida social ha quedado libre de la entropía y de la evolución. ¡Precisamente los dos pilares sobre los que el economista nacido en Constanza enseña que ha de construirse una ciencia social ecológicamente consciente! En este sentido, su contribución a la tarea de volver a poner la sociología sobre sus pies merece toda clase de reconocimientos por parte de quienes nos dedicamos al estudio de los fenómenos sociales.

Por otra parte, sin necesidad de hacer concesiones a ninguna clase de exceso construccionista, Georgescu-Roegen ayuda a liberarse del evolucionismo social (lo que es también una contribución de suma importancia). La base para ello es una cuidadosa elaboración de la emergencia de novedades en los sistemas evolutivos como algo esencialmente imprevisible. En varios capítulos de su libro fundamental de 1971, construye una noción del cambio como mutación cualitativa, algo muy distinto del cambio como resultado de la locomoción en los sistemas mecánicos. Para construirla, recurre al principio de la innovación por medio de la combinación, que se manifiesta en el hecho de que las cualidades de los compuestos químicos no pueden deducirse de la descripción de sus componentes: las cualidades del agua no se pueden anticipar estudiando el hidrógeno y el oxígeno. Algo que es omnipresente en el universo, afirma (Georgescu-Roegen, 1996: 58): “El principio actúa por todas partes, con un grado de diversidad que aumenta constantemente desde la física del átomo en el campo inorgánico hasta las formas sociales en el superorgánico”. La evolución biológica, con la imposibilidad de predecir la emergencia y las características de nuevas especies, es el paso siguiente. Y, por extensión, los mismos criterios se aplican al cambio social: “[…] ampliamente interpretado, el proceso económico es una continuación del biológico” (Georgescu-Roegen, 1996: 381).

Un breve comentario, ahora, sobre la problemática introducida por el “ampliamente interpretado” en lo que respecta a la relación entre el cambio social y la biología. Está claro que la evolución y la historia tienen aspectos en común, además de la impredecibilidad: el pasado no determina lo que acontece, pero lo condiciona, y, de alguna manera, resulta razonable aceptar que pone límites al

respecto; tanto las especies como las civilizaciones se extinguen, nada dura eternamente; el grado de aislamiento y la intensidad y el tipo de las interacciones tienen que ver con lo que sucede, tanto a las poblaciones de organismos como a las sociedades. Está claro también que las diferencias son significativas, especialmente, en el hecho de que el cambio cultural tiene la potencialidad de ser mucho más rápido que el debido a la evolución biológica (la razón es bastante obvia: mientras que una mutación genética se transmite solo a los descendientes directos de las siguientes generaciones, una innovación cultural puede transmitirse a todo el mundo, incluyendo la presente generación). Puede especularse con la multiplicación de los grados de libertad del sistema que la emergencia de la cultura añade al cambio social, aunque, como no hay forma de medirlo cuantitativamente, algo así solo puede darse por supuesto. Las diferencias, en cualquier caso, tienen que ver con el hecho de que lo que produce los cambios en la evolución biológica se conoce mucho mejor que lo que los produce en la "evolución" social y de que, en relación con ello, hay mucho más consenso acerca de la ley del cambio en biología que en sociología. Georgescu-Roegen esboza vías que quizás podrían clarificar algún extremo de esta vieja y enrevesada problemática, pero no va mucho más allá (¿habrá respuestas más elaboradas en sus notas no publicadas sobre la bioeconomía?). En resumen: La ley de la entropía y el proceso económico libera a la sociología del evolucionismo social pero no aclara cómo liberarla del evolucionismo biológico, puesto que el concepto de evolución exosomática abre la puerta a todas las incógnitas de la relación entre sociedad, tecnología y cultura. Parece que el organismo no es una máquina, pero también que la sociedad no es un organismo.

La conexión entropía-evolución-cambio social suscita otra cuestión, interesante, pero todavía difícil de responder, acerca de si la evolución y la historia se aproximan mutuamente cuando las restricciones ambientales son fuertes, esto es, en situaciones de escasez de recursos (por ejemplo, en la crisis ecológica actual). Intuyo que la respuesta tendría que ser afirmativa, dada la correlación que existe entre abundancia material y libertad. Si los recursos naturales se vuelven escasos, entonces las respuestas sociales ya no pueden ser todas las adaptaciones que culturalmente serían viables, sino únicamente las compatibles con los recursos al

alcance. Las limitaciones ambientales estrechan el rango de posibles adaptaciones culturales y, por lo tanto, contribuyen a la selección de las que son más viables. No parece que la lógica de la evolución pueda ser insignificante en un contexto como este. Por otro lado, incluso si los recursos escasean, el rango de posibles respuestas culturales debe ser bastante amplio. Propuestas como la de Duncan (2001), según la cual el agotamiento de los combustibles fósiles conduce necesariamente al barranco de Olduvai, al origen prehistórico de la especie humana, son excesivamente deterministas. De hecho, los estudios históricos y antropológicos apuntan a que algunas sociedades, pese a estar muy aisladas, fueron capaces de adaptarse a condiciones ambientales extremadamente restrictivas. En resumen: el futuro no está escrito, ni en la historia, ni en la evolución, ni en la combinación de historia y evolución que nos constituye como habitantes de la Tierra. Para comprender esto, Georgescu-Roegen es un muy buen punto de apoyo.

Un último comentario para cerrar esta sección. Generalizando mucho, podría decirse que la propuesta de Georgescu-Roegen para analizar el cambio social es una vía intermedia entre el evolucionismo social determinista y el puro accidente, una peculiar variación del tema del azar y la necesidad. La idea se resume en su muy citada afirmación de que un niño o un coche más ahora implican una vida humana menos en el futuro (Georgescu-Roegen, 1996: 377); aunque, más allá de eso, las formas concretas de articular socialmente la mediación entre ambos extremos son indeterminadas. La degradación entrópica implica unos límites y un destino trazados inexorablemente. Cómo y a qué ritmo se transite por el camino son cosas que quedan abiertas a la indeterminación.

En términos actuales, el hecho de haber superado los límites del planeta comporta que el decrecimiento es inevitable:

La conclusión es clara e ineludible. La actividad industrial que ocupa ahora a una gran parte de la humanidad acelera cada vez más el agotamiento de los recursos terrestres. Por lo tanto, ha de conducir a una crisis. Más pronto o más tarde, el “crecimiento”, esa gran obsesión de los economistas, tanto si son estándar como si son marxistas, tiene que acabar. La única pregunta es “¿cuándo?”

(Georgescu-Roegen, 1977a: 364).

Por otra parte, los caminos del decrecimiento (de la cuesta abajo, como prefiero decir, reservando la palabra decrecimiento para la reducción de las magnitudes físicas del sistema) no son predecibles ni controlables. Una cautela que no solamente habría que aplicar a los planes inspirados por la ideología de la modernización ecológica (como el Pacto Verde Europeo), sino también a los que imaginan un descenso o decrecimiento organizado y controlado, tanto da si en versiones rebeldes o en versiones tecnocráticas. Últimamente, abundan las señales de que el decrecimiento está convirtiéndose en una idea respetable, de camino a devenir mainstream. Hay que contar, entonces, con que van a proliferar propuestas de "retroceso organizado" (Climate Adaptation Initiative, 2019). Propuestas que revelan, sobre todo, la disposición, por parte de quienes creen que están al timón de algo solo porque son ricos y poderosos, a persistir en el error, a no renunciar a la ilusión de que siguen al timón, pase lo que pase, hasta el último minuto. El decrecimiento podría convertirse en el último y desesperado refugio de la tecnocracia si no se aprende la lección del defensor de la bioeconomía (Georgescu-Roegen, 1996: 434): "El pecado capital del biologismo (al igual que de todo cientifismo social) es la negativa a ver que en un campo en el que es imposible la predicción es insensato creer que hay medios con los que el hombre puede alcanzar algunos fines elegidos y solamente esos". Una lección que, por una parte, revela la voluntad de no incurrir en el reduccionismo epistemológico y, por otra parte, invita a desprenderse de la ilusión de someter a control el cambio social.

Tecnología y sociedad: ¿Habrá alguna vez una tercera tecnología prometeica?

Si la economía hubiese reconocido el carácter entrópico del proceso económico, podría haber sido capaz de avisar a sus colaboradores

en la mejora de la humanidad —las ciencias tecnológicas— de que "mayores y mejores" lavadoras, automóviles y aviones supersónicos tenían que conducir a una "mayor y mejor" contaminación (Georgescu-Roegen, 1996: 65).

La idea de que en la historia universal ha habido dos grandes procesos de transformación que han abierto paso a nuevas formas de organización social, a cambios civilizatorios, no es en modo alguno nueva en las ciencias humanas. La forma más habitual de referirse a tales procesos es, seguramente, la que hace valer estas dos etiquetas: revolución neolítica y revolución industrial. Hay muchas versiones que conectan las dos grandes mutaciones a técnicas específicas y hay también bastantes que las hacen depender en mayor o menor grado del uso de energía y de las tecnologías que hacen que dicho uso sea posible. Con una formulación u otra, se trata de una de las ideas-fuerza del evolucionismo social materialista (Childe, 1936; White, 1943; Cottrell, 1955; Lenski, Nolan y Lenski, 1995).

Georgescu-Roegen formuló una versión propia de la idea de las dos revoluciones, haciéndolas depender de las fuentes de energía y las tecnologías para utilizarlas que caracterizan a cada una de ellas. En esencia, su tesis es que ha habido en la historia de la humanidad dos desarrollos fundamentales en este sentido: el primero de ellos fue el control del fuego, que abrió la posibilidad de obtener, dependiendo de la voluntad y no del azar, energía térmica a partir de la energía química contenida en la biomasa; el segundo, la combinación entre la máquina de vapor y el carbón, que ha permitido utilizar el stock de combustibles fósiles acumulado en el pasado del planeta. El tratamiento del tema por el economista y matemático rumano tiene dos rasgos diferenciales. Uno de ellos es que permite comprender la conexión entre energía y cambio social liberándolos del determinismo unidireccional que ha caracterizado a casi todas las elaboraciones anteriores de esa conexión, situadas en el marco del evolucionismo social. El otro es que perfila con mucha precisión una de las principales incertidumbres que, para el cambio social, se derivan de la presente crisis ecológica. A continuación, se hará una breve presentación de los conceptos

correspondientes, añadiendo algunos comentarios sobre sus implicaciones para el mundo actual.

La técnica más básica de todas las sociedades preindustriales, explica Georgescu-Roegen (1982a: 16), fue el dominio del fuego, que facilitó su uso para fines muy variados. La importancia de este descubrimiento deriva de dos propiedades singulares. En primer lugar, el fuego representa una conversión cualitativa de energía, la conversión de una cierta forma de energía química en energía térmica. Además, procede como una reacción en cadena: con una sola llama pequeña puede quemarse un bosque entero o incluso todos los bosques. Permitió a los humanos calentar alimentos y cocinarlos. Hizo posible preparar las tierras para la agricultura mediante prácticas de tala y quema. El desarrollo de la cerámica, más allá del modelado de barro crudo, depende del horno y de la posibilidad de encenderlo a voluntad. La fragua y la forja, las operaciones metalúrgicas, solo son practicables controlando una fuente de calor… Las técnicas del mundo antiguo, incluyendo las civilizaciones agrícolas, son fruto de este proceso básico, que los antiguos griegos atribuyeron comprensiblemente al legado de un titán, no de un simple mortal. A todo ello añade que la era tecnológica abierta por el don de Prometeo I, como sugiere que debería llamársele, fue la era de la madera, durante muchos siglos, el principal combustible.

La técnica que abrió la puerta a la excepcional dinámica expansiva de la civilización industrial fue la máquina de vapor, la conversión del calor en movimiento, utilizando el carbón como combustible. En su resumida presentación del tema, nuestro autor recuerda que aunque el carbón era conocido como fuente de calor desde siglos atrás, su uso para reemplazar a gran escala la madera se veía frenado por la inundación de las minas por aguas subterráneas y los músculos de hombres y animales de trabajo no eran suficientes como energía motora para secar las minas. La solución, el regalo de Prometeo II, vino de la mano de Savery y Newcomen, con su invento para bombear agua mediante una máquina de vapor. La máquina de vapor, como el fuego, representa una conversión cualitativa, en este caso, de energía térmica a energía mecánica. Y es también un proceso capaz de autoalimentarse: con una máquina de vapor y algo de carbón es posible extraer carbón y otros metales

en cantidad suficiente para producir otras máquinas de vapor y así sucesivamente, mientras haya suficiente combustible y los minerales apropiados. Todavía estamos viviendo en la era de los combustibles fósiles, apostilla Georgescu-Roegen (1982a: 17-18).

Hasta aquí, Georgescu-Roegen se limitó a resumir informaciones bien establecidas en la historia de la técnica. Completó el resumen, sin embargo, con dos consideraciones agudas y pertinentes que ayudan a comprender los dilemas que la inminencia del pico de los combustibles fósiles (y la necesidad de poner freno a la contaminación de la atmósfera con los residuos producidos al quemarlos) plantean a las perspectivas del cambio social. La primera de esas aportaciones distingue entre técnicas excepcionales, que mantienen una civilización, y técnicas, por decirlo así, corrientes, que son mantenidas por aquellas. La segunda liga la intensificación tecnológica con la dificultad creciente de seguir recurriendo a la misma para hacer frente a los nuevos y más grandes desafíos.

En un artículo sobre las posibilidades y los límites de la energía solar, Georgescu-Roegen introduce una distinción entre recetas factibles y tecnologías viables o prometeicas (Georgescu-Roegen, 1978: 18). Reitera esa distinción en varios trabajos publicados en la primera mitad de los años ochenta, todos ellos con un contenido similar, dedicados a criticar el “dogma energético”, a recordar hasta qué punto “la materia también cuenta” y a insistir en que la salvación ecológica no puede pasar por un estado estacionario, dado que a largo plazo tampoco este es sostenible (Georgescu-Roegen, 1982a, 1982b, 1983 y 1984). Recetas factibles son cosas que en una civilización determinada se saben y se pueden hacer. Con las categorías de la representación analítica del proceso económico, un proceso o receta es factible si en el momento en que se dilucida la cuestión, todas sus coordenadas específicas de fondos y flujos son conocidas y puede disponerse de los factores correspondientes (Georgescu-Roegen, 1984: 29). Cultivar patatas, clonar ovejas o enviar un cohete a la Luna son recetas factibles en la actualidad. Producir electricidad comercial mediante fusión nuclear no lo es (todavía no, al menos). Una tecnología, aclara (Georgescu-Roegen, 1983: 425), es “un conjunto interrelacionado de recetas factibles”; y es una tecnología viable cuando puede automantenerse, cuando

permite obtener todo lo necesario —energía, materiales, trabajo, equipos, sumideros para residuos, etc.— para ejecutar las recetas factibles.

Esta sencilla distinción resulta extraordinariamente aclaratoria para sacar a la luz los puntos débiles del optimismo tecnológico corriente. En la sociología ecológica, es habitual realizar entrevistas o grupos de discusión para indagar cómo se perciben socialmente las problemáticas medioambientales. Muy frecuentemente el discurso circula hasta detenerse ante un nudo de preocupación, de ansiedad incluso, aquello de "es que estamos destruyendo el planeta"; casi sin excepciones, el nudo inquietante se deshace rápidamente mediante una invocación, "ya se inventará algo", tras la cual se regresa a las cuestiones del día a día. La fe en la tecnología es persistente. Lo ha sido durante siglos. Gabriel Plattes (1639: 52-53) ya anunció que las escaseces ecológicas estimulan la inventiva y se superan gracias a ella. Es la misma fe que lleva hoy a tanta gente a convencerse de que solo cambiando el coche de gasolina por el coche eléctrico, todo lo demás seguirá igual. O de que el hiperconsumo tardomoderno podrá mantenerse con el 100% de renovables. O de que la promesa de un futuro verde y digital lanzada a bombo y platillo por la Unión Europea es realista. Una de las fuentes que alimenta la fe es la experiencia cotidiana de verse rodeados de toda clase de artefactos, la evidencia de que hay innumerables invenciones introducidas en la vida social casi sin solución de continuidad, la proliferación de recetas factibles que es característica de la sociedad industrial. Y es aquí donde la mencionada distinción conceptual resulta especialmente aclaratoria: aunque la lista de las invenciones técnicas en la historia de la humanidad se alargaría hasta un número enorme, "solo dos de esas invenciones han acrecentado el poder del hombre sobre el medioambiente de una forma esencial" (Georgescu-Roegen, 1982b: 29).

La lección debería ser obvia: el tipo de saltos tecnológicos y sociales posibilitados por las que Georgescu-Roegen denomina tecnologías viables tiene un carácter del todo extraordinario. Sí que han ocurrido transformaciones así en el pasado, pero solo dos veces. Durante la primera vez, la domesticación de plantas y animales acabó resolviendo la presión demográfica de las sociedades de

recolección, haciendo posible una primera y considerable multiplicación del número de seres humanos. En la segunda, la máquina de vapor y el vaciamiento de los grandes depósitos acumulados de materiales orgánicos fosilizados del pasado remoto dieron lugar a un aumento sin precedentes del número de seres humanos sobre el planeta: dos mil millones en 1927, tres mil millones en 1959, seis mil en 1999, en torno a siete mil novecientos en 2022. El multiplicado suministro de energía está asociado también con un aumento del promedio de años vividos y con un gran incremento del consumo, sin precedentes en la historia, para más o menos una quinta parte de la población del globo. Ahora bien, el hecho de que este tipo de mutaciones hayan sido excepcionales implica que no hay garantía de que se repitan.

La sociedad preindustrial superó transitoriamente sus límites ecológicos mediante un remedio tecnológico: la combinación del carbón y la máquina de vapor. Un remedio que hizo posible una transformación social extraordinaria. Entonces, cuando se establece la analogía, cuando se mantiene que la sociedad actual está tropezando con sus límites naturales, las preguntas surgen casi espontáneamente: y si, entonces, los límites se superaron, ¿por qué ahora no va a pasar lo mismo? ¿Acaso el hecho de que haya sucedido en el pasado no demuestra que también sucederá en el futuro? ¿Acaso no es incluso más seguro ahora, puesto que sabemos mucho más y tenemos muchos más recursos? La respuesta científica a esas preguntas, por supuesto, es que nadie sabe qué sucederá en el futuro. Nadie sabe aún si un nuevo Prometeo aparecerá a tiempo para volver a robar el fuego a los dioses. Tal vez se produzca el milagro técnico capaz de restituir a los seres humanos su dañado orgullo de especie dominante y de impulsar más movimientos expansivos de la civilización industrial, o tal vez no. Que eso es lo que define a los descubrimientos: que nadie puede asegurar que tendrán lugar. La oscura incertidumbre de la historia… Georgescu dedicó bastante atención a dos de las candidaturas más recurrentes a la condición de tercera tecnología prometeica: la fusión nuclear y los convertidores modernos de flujos renovables, mostrando, con buenas razones, cuya perspicacia se comprende aún mejor hoy, después de cincuenta años de su formulación, que es muy dudoso que puedan llegar a serlo. Por las extremas dificultades técnicas para el control de la fusión, en un caso, por el carácter diluido de la

llegada a la Tierra de la radiación solar, y la correlativa y muy elevada demanda de espacio y materiales, minerales escasos entre ellos, para concentrarla y acumularla, en el otro. Por decirlo con sus propios conceptos: la fusión nuclear podría ser quizás una tecnología viable, pero es muy dudoso que llegue a ser algún día una receta factible; los convertidores de energía solar son sin duda recetas factibles, pero es muy dudoso que puedan convertirse algún día en la tecnología viable capaz de mantener las dimensiones y los impulsos expansivos actuales de la civilización industrial.

El análisis resumido en los párrafos precedentes llevó a Georgescu-Roegen a exponer algunas conclusiones prácticas. Una de ellas la expresó así: "Puesto que nadie puede estar seguro de que Prometeo III llegará, ni puede saber exactamente cuál será su don, hay solo una estrategia que se impone de forma inapelable, a saber, una conservación general bien planificada" (Georgescu-Roegen, 1982a: 19). Los criterios básicos de dicha estrategia están resumidos en lo que llamó programa bioeconómico mínimo, que incluye suprimir la fabricación y el comercio de armas, ayudar a los países pobres hasta que sus habitantes alcancen un nivel de vida modesto pero suficiente, disminuir gradualmente la población hasta el nivel en que pueda alimentarse mediante agricultura orgánica, renunciar al anhelo de poseer artefactos extravagantes, deshacerse de la moda y diseñar los productos manufacturados para que sean durables y reparables y, finalmente, aumentar el tiempo de ocio (Gerogerscu-Roegen, 1975: 830-832). Los principios de conservación y de renuncia a la extravagancia se derivan de la aceptación de la incertidumbre, pues, si bien asumir la incertidumbre implica reconocer que la situación podría cambiar de arriba abajo sin previo aviso, por un descubrimiento, por un acontecimiento inesperado, implica igualmente que no hay garantía alguna de que tal cosa ocurra. Por ello, aplicar los criterios bioeconómicos permitiría ganar tiempo para esperar el nuevo regalo prometeico o, en ausencia del mismo, para deslizarse lentamente y sin catástrofes hacia una tecnología menos "caliente". Es en este contexto en el que pronostica un cambio en la profesión de economista, dejando de preocuparse exclusivamente por el crecimiento y pasando a buscar criterios adecuados para planificar el decrecimiento (Gerogerscu-Roegen, 1982a: 19).

Otra poderosa objeción al optimismo tecnológico desenfrenado consiste en la constatación de que una característica de las tecnologías viables es seguir adelante hasta que el combustible que las mantiene comience a escasear. Ocurrió con la madera, al menos en Europa y en China, en los siglos inmediatamente anteriores a la Revolución Industrial. Y está ocurriendo en el presente con los combustibles fósiles. En ausencia de una innovación fundamental, forzar las cosas con más tecnología (por ejemplo, buscando petróleo en las más hondas profundidades del océano o desarrollando la fracturación hidráulica) solo consigue diferir unos años el problema, al precio de hacerlo más grave y de acentuar el riesgo de colapso, el riesgo de que el descenso no sea ordenado, sino catastrófico. Jane Jacobs (2005: 160) apuntó una vez que el intento de sobrevivir mediante la eficiencia es una gran locura, añadiendo que eliminar la redundancia equivale a un suicidio cultural. Andaba en lo cierto: en ausencia de una tecnología viable alternativa, la intensificación tecnológica permite gestionar los problemas de hoy al precio de que los problemas de mañana sean mayores y más intratables. Y la convicción de que como seremos más ricos y tendremos más conocimientos, las dificultades acrecentadas también serán superadas, puede muy bien revelarse autodestructiva. Invirtiendo el sentido del conocido verso del poeta Hölderlin, podría decirse que donde crece lo que nos salva crece también el peligro. La idea de que cualquier sistema vivo evoluciona disipando hasta agotarla la energía accesible en su entorno tiene su origen en fuentes diversas, la más conocida e influyente de las cuales, seguramente, es el "principio del máximo" de Lotka (1945). Como el propio Lotka, Georgescu-Roegen muestra alguna vacilación acerca de si el principio es aplicable a los humanos de una forma estrictamente determinista. En su libro fundamental de 1971 lo expresó en términos nada vacilantes: "No debemos dudar de que, siendo la esencia humana la que es, el destino de la especie humana está en elegir una carrera verdaderamente grande, aunque breve, no una larga y monótona" (Georgescu-Roegen, 1996: 378). En otras ocasiones, lo expresó como un temor abierto a que las cosas pudieran ser de otra manera. En cualquier caso, la advertencia es del todo pertinente. Resulta significativo, en mi opinión, que sus palabras se asemejen mucho a las de uno de sus precursores, muy preocupado, como él, por la dependencia de los combustibles fósiles que caracteriza a la civilización industrial: Jevons, otro heraldo del

decrecimiento, quien puso punto final a su libro sobre el carbón (Jevons, 1866: 349) expresando sus dudas acerca de que la acelerada creación de riqueza material sea el mejor objetivo a perseguir y sugiriendo que, quizás, sería más razonable optar por una duradera medianía que por un fugaz esplendor.

Entropía y estructuración de las sociedades (estructura y conflicto social)

Al igual que Marx, creo que el conflicto social no es una mera creación del hombre sin raíz alguna en las condiciones humanas materiales. Pero, al contrario que Marx, considero que, debido precisamente a que el conflicto tiene tal fundamento, no puede eliminarse ni por decisión del hombre de hacerlo así ni por la evolución social de la humanidad (Georgescu-Roegen, 1996: 380).

En el título del capítulo 10 de La ley de la entropía y el proceso económico se unen tres conceptos: entropía, valor y desarrollo. ¿Significa algo la coincidencia? En cierto sentido, la respuesta a esta pregunta es obviamente afirmativa: si los recursos naturales son un componente del valor económico, y no pueden ser abundantes hasta el punto de que se obtengan sin esfuerzo o puedan consumirse sin límite, entonces el conflicto en torno a los mismos resulta insoslayable. Escasez y conflicto van juntos. En la construcción del argumento hay dos pasos. El primero de ellos consiste en recordar que en la naturaleza, entre los seres vivos, hay lucha por la vida, lucha por la entropía, una forma de competición por los recursos que no es todavía conflicto social: “El conflicto social es una consecuencia de la lucha del hombre con su entorno” (Georgescu-Roegen, 1996: 381). Repárese en la distinción: es una consecuencia de la lucha por la vida, no algo idéntico a la lucha por la vida. El segundo desarrolla la tesis de qué es el desarrollo de los artefactos, lo que Georgescu, inspirándose en Lotka, denomina evolución exosomática, lo que impulsa a organizar socialmente las actividades

que permiten la subsistencia. Y la organización social da lugar, inevitablemente, añade, a determinadas estructuras de desigualdad y hace que el conflicto se convierta en conflicto social.

En el pensamiento de intención emancipatoria ha sido frecuente imaginar la superación de la desigualdad y del conflicto por la vía de la abundancia material. Descartada esa vía, solo hay otra forma concebible de suprimir el conflicto social, apunta Georgescu-Roegen, destacando lo que hay de paradójico en la idea: "[…] que, en virtud de cierta regresión evolutiva, el hombre se degrade al estado de otros animales, lo que es una eventualidad totalmente absurda" (Georgescu-Roegen, 1996: 380). Desde luego, si no hubiese sociedad, no habría conflicto social.

Entre esos dos extremos, la abundancia y la animalidad, se encuentra la existencia social, con su destacable rasgo definitorio: la evolución exosomática. Esta convierte la producción en una tarea social, más allá del grupo pequeño consanguíneo que viene determinado por la biología de la especie. Y la organización social de la producción requiere supervisión, coordinación, dirección, legislación, prédicas, enseñanza, información, etc., es decir, una categoría particular de servicios sin los que aquella no podría funcionar. Y esos servicios dan lugar a oficios que no tienen una medida objetiva, lo que genera una tensión permanente en torno a la remuneración de los mismos. En palabras de Georgescu-Roegen (1996: 390): "La evolución exosomática del hombre ha creado la necesidad imperecedera de una humanidad dividida en supervisores y supervisados, en directores y dirigidos, en jefes y subordinados". Con el corolario siguiente: "Cuál sea el nivel adecuado de renta para los servicios que no producen un resultado palpable constituye la eterna raíz primaria del conflicto social en toda sociedad organizada" (Georgescu-Roegen, 1996: 383).

Resumida con un lenguaje más habitual en sociología, la teoría de Georgescu-Roegen sostiene que la desigualdad y el conflicto sociales se derivan de la existencia, en toda sociedad organizada, de dos estructuras básicas de la división social del trabajo: por una parte, la división entre el campo y la ciudad; por otra parte, la división entre el trabajo manual y lo que, sin duda interesadamente, se ha dado en llamar trabajo intelectual. Llama la atención que, en buena

medida, esa teoría sea muy parecida a la marxista en un aspecto: la centralidad de la organización social de la producción a la hora de dar cuenta de la estructura y el conflicto sociales. Diferenciándose mucho, en cambio, en dos puntos: la ausencia de connotaciones idílicas al referirse al "comunismo primitivo" y la renuncia a imaginar una culminación de la historia mediante la superación definitiva de la escasez material.

Georgescu-Roegen (1977: 368) introdujo su argumento sobre la permanencia del conflicto social como una respuesta explícita a Marx: "Contrariamente a la fe marxista fundamental, la socialización de los medios de producción no puede poner fin al conflicto social". Y ciertamente, para no pocos marxistas, la tesis de que la desigualdad social tiene, en última instancia, un fundamento natural, resulta especialmente incómoda. No es sorprendente, pues, que algunos críticos hayan atacado directamente esa raíz naturalista (Wallenborn y Gillis, 2007), la que conecta al fundador de la bioeconomía con la pretensión de encontrar modelos en la física y en la biología que caracterizó a los sociólogos decimonónicos (que les caracterizó para bien, me permito añadir). Téngase en cuenta que en la historia del marxismo hay algunos herejes que cabe recordar aquí. El joven Kautsky, marxista y también darwiniano, que aceptó la raíz natural de la limitación de los recursos y mantuvo que "querer suprimir la lucha por la vida es simplemente una utopía que no podrá jamás convertirse en realidad" (Kautsky, 1884: 335). O Harich (1978: 192), para quien la crisis ecológica obliga a asumir que el estado no se extinguirá.

El punto de vista de Georgescu-Roegen tiene precedentes. Hay una larga lista de argumentos basados en la prevención naturalista, en el reconocimiento de que la naturaleza no nos dejará hacer todo lo que queramos, una lista que se remonta por lo menos hasta Aristóteles. Es reseñable, en particular, la semejanza con las razones por las que Malthus discrepó del utopista Godwin y de la tesis de este de que el conflicto social desaparecería una vez abolidas las instituciones (la propiedad, el Estado, el matrimonio y las asociaciones). Según Malthus, el que un horizonte de relativa escasez sea insuperable y sea poco realista la perspectiva de una sociedad de la abundancia material en la que media hora de trabajo diario sea suficiente y en la que todo lo que sea preciso hacer

cuando se necesite algo sea pedírselo al vecino, implica que las instituciones no pueden ser suprimidas duraderamente. Y que en caso de abolirlas, el esfuerzo de acceder a recursos escasos llevaría en no demasiado tiempo a su restitución bajo formas no sustancialmente distintas de las precedentes. En el origen de la civilización —viene a decir— estuvo el establecimiento de la familia, de la propiedad y del Estado, y no se avista una sociedad civilizada en la que todo eso no siga estando de algún modo presente. Y de esas tres instituciones, propiedad, familia y Estado, se sigue necesariamente un cierto grado de desigualdad social, a la que cabe referirse como división de la sociedad en clases (Malthus, 1798: 206-207).

El paralelismo entre la argumentación de Malthus y la de Georgescu-Roegen es evidente. Si acaso, la versión de este último incluye una dosis más sólida de fundamentación científica. La entropía —mantiene el economista rumano— excluye la abundancia irrestricta del horizonte de la humanidad. La evolución exosomática permite ampliar la desigualdad mucho más allá de las diferencias biológicas interindividuales: los habitantes de las actuales ciudades industriales consumen trescientas mil calorías diarias; los miembros de un grupo de cazadores-recolectores, tres mil. Y la organización social de la producción, a través de la imprescindible división social del trabajo, conduce a institucionalizar de una u otra forma esa desigualdad.

Quien sienta la tentación de escandalizarse por la forma en que el economista rumano reconstruye la idea de que hay una fundamentación natural de la desigualdad social debe tener en cuenta que, desde la estricta lógica del razonamiento que sostiene esa idea, hay un amplio margen para la teoría y la práctica políticas según la forma concreta que, dentro de las posibilidades de variación existentes, adquieran las instituciones no eliminables. No es en modo alguno impensable alguna forma de igualitarismo social compatible con las restricciones que antes Malthus y luego Georgescu consideraron ineludibles: una forma de organización social en la que las leyes aseguren el disfrute de la propiedad adquirida como resultado del propio trabajo, en las que las normas sociales establezcan responsabilidades intergeneracionales en el marco de estructuras de relaciones personales de grupo pequeño y

en la que el Gobierno asegure que todo eso funcione de una manera civilizada (es decir, combatiendo las actividades económicas mafiosas y la violencia patriarcal). Si todo esto le suena raro todavía a alguien, téngase en cuenta no solo que la crítica ecológica pone en duda la viabilidad de un mundo sin Estado, sin propiedad y sin familia, sino también que la gran mayoría de las propuestas que hoy se identifican como socialistas, o incluso como anticapitalistas, o como feministas, no mantienen la perspectiva de extinción del Estado, de estricta comunidad de bienes o de absoluta responsabilidad pública en la crianza y educación de las niñas y los niños. En cuanto a la desigualdad social, conviene recordar que si bien en el contexto mencionado no puede ser suprimida, sí podría ser reducida, orientándose hacia una sociedad como la que el malthusiano y protoecologista Stuart Mill consideró deseable, una sociedad capaz de garantizar la durabilidad de unas condiciones de vida aceptablemente buenas, con poca gente pobre, con pocos casos de extrema riqueza y con condiciones laborales razonables, buena instrucción escolar y niveles de vida confortables para una gran masa de trabajadoras y trabajadores (Mill, 1871: 330).

Georgescu-Roegen, como muchos de los teóricos sociales ecológicamente conscientes, arroja un jarro de agua fría sobre las ilusiones utópicas desmedidas. Pero su razonamiento es, en lo esencial, metapolítico. Aceptando el marco que diseña, hay todavía margen para una política que aspire a facilitar una vida buena a la mayoría. El espacio político para un igualitarismo social ecológicamente consciente se sitúa entre la Escila de la translimitación (de la extralimitación, del sobrepasamiento) y la Caribdis del despotismo (de una gestión autoritaria de la escasez). Es un camino estrecho, seguramente, pero no creo que a estas alturas eso sea una gran sorpresa para nadie.

Palabras finales

La sociología ha dedicado muy poca atención a las ideas y propuestas de Georgescu-Roegen. Un indicio de ello es que en la

extensa bibliografía sobre la obra del economista rumano que fue seleccionada por Grinevald apenas hay un título inequívocamente vinculable al gremio sociológico, un libro de Forsé que, por otra parte, no tiene mucho que ver con la obra de aquel, excepto por el título (el libro en cuestión aparece relacionado en un anexo a La ley de la entropía y el proceso económico, Georgescu-Roegen 1996: 542). Esa poca atención debería corregirse, no hay ninguna duda. No solo porque fue un más que notable filósofo de las ciencias sociales, ni solo por el impacto que, obviamente, su fundamental crítica del paradigma económico vigente debería tener en la subespecialidad conocida como sociología económica. Más en general, algunas de sus aportaciones añaden aclaraciones y precisiones de sumo interés para asuntos sociológicamente tan fundamentales como la comprensión del cambio social y el análisis de las estructuras de desigualdad, como se ha tratado de reseñar sintéticamente en este trabajo.

En busca de nuevas tecnologías viables en la era del dilema renovable

Adrián Almazán y Ramón del Buey

Un presente en crisis (también metabólica)

La energía se encuentra en el centro de las preocupaciones e inquietudes de gran parte de la población de todo el planeta como no lo había hecho desde quizá las crisis del petróleo de los años setenta. Los precios de la electricidad, la competición geopolítica por los recursos, el desabastecimiento de mercancías, los riesgos de un hundimiento del sistema energético global… Todos estos elementos salpican nuestro día a día en la forma de pobreza energética, inflación, cadenas de distribución rotas, guerras y cada vez más inestabilidad política, social y económica. Si la necesidad de una transición energética había ya sido reconocida sin cortapisas en el ámbito europeo supuestamente como medida de precaución ante el peligroso y acelerado avance del cambio climático (Tollefson, 2022), todo lo anterior muestra que nuestro problema con la energía tiene muchas más dimensiones que la puramente climática.

Para tomar el pulso a la verdadera naturaleza de la crisis energética actual, convendría reflexionar sobre la tierra que pisamos que, por desgracia, en el ámbito energético es enfangada y traicionera. Desde hace más de un siglo hemos introducido masivamente combustibles fósiles, y muy en particular petróleo, en casi todas las dimensiones de nuestras vidas: la economía (Fernández Durán y González Reyes, 2018), la alimentación (González de Molina, 2019), pero también la cultura en un sentido amplio (Vindel, 2020). No obstante, estos han

resultado mortíferos para la trama de la vida (Kolbert, 2015) y, además, han constituido una fenomenal trampa sistémica. Esta consiste en algo muy sencillo: somos adictos a un bien excepcional, finito y en vías de agotamiento.

Exploremos las dos dimensiones de esta afirmación. Empezando por el final, ¿por qué son los combustibles fósiles un bien excepcional, finito y en vías de agotamiento? Son muchos los lugares en los que desde hace ya décadas se ha dado respuesta a esta cuestión, aunque quizá el ejercicio reciente más sintético y convincente haya sido el de Antonio Turiel en su libro Petrocalipsis (Turiel, 2020). Los combustibles fósiles son excepcionales sobre todo por sus características termodinámicas. Su enorme densidad energética hace de ellos una suerte de lotería energética que, como nos enseñó Georgescu-Roegen, se encuentra detrás del enorme dinamismo económico del que hemos sido testigos en las últimas décadas. Nada más evidente desde una perspectiva termoeconómica. Pero, por desgracia, por su origen y composición, estos compuestos son incapaces de reproducirse en una escala de tiempo humana. Es decir, cuando los extraemos, ya que para nosotros producirlos es imposible, nuestra posibilidad futura de acceder a ellos se reduce inevitablemente. Todo combustible extraído, procesado y/o quemado es un combustible perdido e irremplazable. Y, por desgracia, nuestra opción civilizacional ha sido la de un uso desmedido, acelerado y derrochador de este regalo geológico que, de hecho, ha entrado ya en una trayectoria de agotamiento. En 2018 se atravesó el momento de mayor disponibilidad de petróleo a nivel global y el pico del conjunto de estos combustibles se sitúa en las próximas décadas. Lo que nos queda por delante, por tanto, es una inevitable y alarmante senda de descenso fósil a la que acompañará una no menos alarmante senda de descenso energético (Seibert y Rees, 2021).

Alarmante, sí, especialmente a la luz de la segunda parte de nuestra afirmación: somos adictos a los combustibles fósiles. Y esta adicción no es casual ni fácilmente eliminable. Los combustibles fósiles, y por supuesto toda la enorme cantidad de materiales que son necesarios para extraerlos, transportarlos, manipularlos o utilizar su potencial energético para fines productivos y reproductivos (amén de los diferentes artefactos que actúan como mediadores de estas

relaciones), constituyen el corazón de nuestro metabolismo actual (González de Molina y Toledo, 2011). Es decir, un agotamiento de estos combustibles fósiles supone de igual forma una crisis estructural de ámbitos como el transporte, la industria o la producción de alimentos. Una crisis que es también el resultado de la escasez de los materiales de los que antes hablábamos. Esta cuestión material no es menor si tenemos en cuenta que en el actual metabolismo industrial participan el total de los elementos de la tabla periódica y muchos de ellos están sufriendo trayectorias de extracción acelerada y declive análogas a las de los combustibles fósiles (Valero et al., 2021).

Ante esta situación de crisis, que por supuesto desborda lo energético tanto por sus implicaciones ecológicas como, fundamentalmente, por su naturaleza inseparable de la organización socioeconómica de las sociedades capitalistas avanzadas, parece estar desplegándose por todas partes un plan B (Almazán y Riechmann, 2021): la transición verde y digital. Es decir, la instalación masiva de las así llamadas energías renovables —que quizá convendría más bien considerar captadores industriales y de alta tecnología de energías renovables—, acompañada de un proceso generalizado de digitalización, del que no nos ocuparemos en este artículo. Estos dos procesos simultáneos prometen traernos la eficiencia energética, mantendrían a flote el crecimiento económico y, además, construirían una economía desmaterializada donde los impactos causantes de la crisis ecosocial global se convertirían en cosa del pasado.

No obstante, son muchas las voces que están identificando más luces que sombras en estas transformaciones, tanto en el ámbito de la digitalización (Almazán y Riechmann, 2020) como en el energético. Tal y como Turiel (2020) nos recuerda con cierto detenimiento en su libro, estas energías renovables no cuentan con muchas de las características que han sido cruciales para el éxito de los combustibles fósiles y, por tanto, sería ingenuo pensar en la posibilidad de una mera sustitución de unas fuentes de energía por otras. Los captadores industriales y de alta tecnología de energías renovables dependen de flujos que no podemos controlar y son difícilmente almacenables (por lo que no podemos tratarlos como stocks); en promedio, cuentan con una concentración energética

mucho menor que la energía fósil y tienen baja tasa de retorno energético (TRE); dependen en su producción y mantenimiento de los combustibles fósiles; tienen impactos considerables en la biodiversidad y el territorio; solo son capaces de producir electricidad y no cualquier tipo de energía; tienen una vida media relativamente corta (unos treinta años); son incompatibles con el actual diseño de la red eléctrica sin el concurso de aportes de gas natural o energía nuclear…

A todo ello habría que sumar un elemento apenas abordado por el científico catalán pero central en las investigaciones de Antonio y Alicia Valero: dependen de materiales, especialmente minerales, tan o más escasos que los propios combustibles fósiles de los que queremos prescindir (Valero et al., 2018). Es decir, la apuesta por este plan B, entre otras muchas cosas, nos aboca al riesgo de pasar de la actual monodependencia fósil a una multidependencia de una cantidad tremendamente diversa de materiales que se encuentran distribuidos por todo el globo, a veces en concentraciones muy concretas y geopolíticamente delicadas. Materiales que, además, de cumplirse los planes proyectados, se verían sujetos a tasas de agotamiento alarmantemente rápidas. Por ello, hay quien ha puesto en cuestión que dicho plan B pueda superar la actual crisis energética, que es necesariamente también ecosocial. Es decir, para muchos de nosotros las tecnologías renovables más que ofrecer una solución cerrada nos han situado ante un dilema que tenemos que resolver con urgencia si queremos reorganizar nuestras sociedades en términos que nos permitan el mejor aterrizaje de emergencia posible en tiempos de colapso ecosocial (Riechmann, 2019).

Georgescu-Roegen y la tecnología:

un tema solo aparentemente secundario

Creemos que en una comprensión profunda de la naturaleza de la crisis que anteriormente perfilábamos y, sobre todo, en el ejercicio de evaluación que el actual “dilema renovable” nos impone, la obra

de Georgescu-Roegen está destinada a jugar un papel crucial. Y dentro de ella, uno de los aspectos que hasta el momento han pasado más desapercibidos: su pensamiento sobre la tecnología.

Si examinamos el corpus teórico del autor rumano y realizamos un repaso rápido a los títulos de sus obras, la tecnología parecerá estar casi ausente. Especialmente en comparación con otros conceptos como el de entropía, proceso económico, energía o termodinámica, que gozan de una notable centralidad. No obstante, la importancia que Georgescu-Roegen otorgó a esta cuestión puede quizá rebaremarse a la luz de su correspondencia con Edward Elgar entre los años 1985-1986. Examinando sus cartas, conservadas en la Universidad de Duke, descubrimos que durante aquellos años el economista rumano trabajó en un proyecto de libro que se hubiera titulado The Promethean Destiny of Human Technology. Si este nunca llegó a ver la luz fue por la decisión de Edward Elgar de abandonar en 1986 su puesto como director ejecutivo de Wheatsheaf Books. No obstante, el intercambio epistolar entre ambos nos permite saber que el volumen iba a estar conformado por una selección de ensayos entre los cuales "sería recomendable (pero no esencial) que se incluyesen algunos trabajos que no hayan sido publicados previamente", o bien, "algunos que puedan haber sido publicados originalmente en revistas o actas de congresos relativamente inaccesibles", pero evitando "la inclusión de artículos que hubieran sido ya reimpresos en forma de libro" (Georgescu-Roegen, 1985). Si cruzamos las indicaciones de Elgar (que Georgescu-Roegen aceptó explícitamente en las cartas que componen la correspondencia mencionada) con los trabajos del economista de aquella y el índice provisional de este libro que figura en la malograda correspondencia (concretamente en la carta de Nicholas Georgescu-Roegen a Edward Elgar del 28 de agosto de 1985) podríamos haber encontrado títulos como "La dégradation entropique et la destinée prométhéenne de la technologie humaine" (Georgescu-Roegen, 1982a), "Technology assessment: The case of the direct use of solar energy" (Georgescu-Roegen, 1978) o "The crisis of natural resources" (Georgescu-Roegen, 1981), a los que, sin duda, en razón de su temática, también podrían haber acompañado títulos como "Bioeconomics: A new look at the nature of economic activity" (Georgescu-Roegen, 1977b) o "Feasible recipes versus viable technologies" (Georgescu-Roegen, 1984).

Si uno se lanza a la lectura atenta de los textos que hipotéticamente hubieran formado parte de The Promethean Destiny of Human Technology la idea de que la tecnología juega un papel secundario en el trabajo de Georgescu-Roegen desaparece sin remedio. Y no solo por el hecho de que hubiera estado dispuesto a dedicarle todo un libro, sino, sobre todo, porque en estos escritos la tecnología aparece indisociablemente unida a su propuesta bioeconómica. Un aspecto en el que no podremos detenernos en este espacio es el papel que Georgescu-Roegen otorga a la tecnología en su proyecto de imbricar la economía y la biología.

De manera muy sintética, podemos afirmar que Georgescu-Roegen se posicionó en esta cuestión en la línea de grandes teóricos de la tecnología, como Leroi-Gourhan (1950, 2014) o Simondon (2007) de forma implícita, y de ciertos teóricos de la evolución como Lotka (1945) de forma explícita. Así, construyó una noción de la tecnología caracterizada por su funcionalismo y su evolucionismo. Las tecnologías, sin distinción entre ellas, serían los órganos exosomáticos que habrían ayudado al ser humano a competir en la lucha por la vida y salir exitoso. Además, en unos términos muy cercanos a los de Simondon, para Georgescu-Roegen las innovaciones competirían entre sí en una dinámica de supervivencia del más apto marcando una línea de progreso e innovación tecnológicamente continua. Así, la economía se convertiría en la continuación a través de la tecnología del proceso evolutivo humano.

De mucho más interés que los razonamientos anteriores, que contienen en nuestra opinión muchos problemas de fondo, es la definición de la tecnología en clave termoeconómica que Georgescu-Roegen fue construyendo en los artículos que hipotéticamente podrían haber formado parte de su último libro inédito. En estos, la tecnología se define como un conjunto extensivo de relaciones entre los sistemas humanos y el entorno a las que corresponden unos determinados flujos de energía y materiales —extracción, consumo, transformación, disipación, agotamiento, generación y reciclaje de residuos, etc.—. En “Technology assessment: The case of the direct use of solar energy”, Georgescu-Roegen define la tecnología como “un sistema general mediante el cual se utiliza la materia-energía del medioambiente

para diversos fines" (Georgescu-Roegen, 1978). La elección del término medioambiente no es en absoluto baladí, sino que, antes al contrario, contiene toda la riqueza de la reflexión en clave termodinámica que Georgescu-Roegen desarrolló durante décadas. Desde ella, para conocer un sistema, era crucial mapear la circulación de entrada (input o insumos) y las circulaciones de salida (output o residuos), elementos por tanto inseparables de toda descripción de la tecnología en los términos del economista rumano.

Un segundo lugar donde la tecnología aparece definida es el artículo "The crisis of natural resources". Allí, concretamente en el apartado titulado precisamente "The promethean destiny of human technology", Georgescu-Roegen ofrecía una segunda definición de tecnología: "Entiendo por 'tecnología' el conjunto de recetas factibles" (Georgescu-Roegen, 1981). Sin entrar todavía con detalle en la muy importante diferenciación entre receta factible y tecnología viable, lo que sí podemos ver ya es que en esta definición el "conjunto de recetas factibles" contiene los diferentes procedimientos por los que se alcanzan los "diversos fines" a los que se hacía referencia en la anterior definición. En estos objetivos materiales de distinta índole que surgen de la combinación de las recetas y los fines, tales como "calentar una casa con radiación solar" o "viajar a la Luna", cabe distinguir, por una parte, elementos fondo o agentes y, por otra parte, elementos flujo o instancias sobre las que actúan tales agentes. Esta diferenciación, a la cual, como nos recuerdan muchas contribuciones de este libro, la economía estándar se ha mostrado históricamente refractaria, queda por tanto también incorporada a la definición de tecnología.

Otro lugar donde Georgescu-Roegen ofrece una definición bastante completa de tecnología es en "Feasible recipes versus viable technologies", una conferencia pronunciada en 1983 en el marco de la Sixteenth Atlantic Economic Conference. Es allí donde Georgescu-Roegen fusiona su representación analítica del proceso de producción, que cuestiona y reemplaza la función de producción asumida por la economía neoclásica (Naredo, 1987), con la definición de la tecnología. Es más, allí lo que descubrimos es que, de hecho, la tecnología para Georgescu-Roegen no es más que dicha función de producción extendida al conjunto de la sociedad. Es

decir, y en conexión con la visión biotecnológica más amplia de Georgescu-Roegen, la tecnología se convierte en el corazón de la mediación con el entorno y los elementos clave para describirla no son otros que, precisamente, los mismos que componen la función de producción: las coordenadas específicas de flujo y fondo.

Recetas factibles frente a tecnologías viables:

una distinción de plena actualidad

En el marco de la conferencia “Feasible recipes versus viable technologies”, Georgescu-Roegen no solo presentó una definición general de la tecnología, sino que diferenció entre dos términos que revisten hoy una importancia crucial para repensar el “dilema renovable” ante el que nos encontramos. El economista rumano allí afirmaba:

Un proceso (o una receta) es factible si en el momento de la discusión conocemos todas sus coordenadas específicas de flujo y fondo. Así, hornear pan, transmitir mensajes por ondas electromagnéticas, fundir mineral de hierro, son todas recetas factibles. Pero controlar la energía termonuclear o prevenir los terremotos no lo son. Por otra parte, aunque todos los procesos incluidos en cualquier tecnología deben ser factibles, no toda tecnología es necesariamente viable (Georgescu-Roegen, 1984: 29).

Es decir, en el conjunto amplio de mediaciones metabólicas que compone la definición de tecnología que nos ofrece Georgescu-Roegen podemos encontrar diferentes recetas factibles, que no son más que una colección de procedimientos para los que tenemos el conocimiento necesario y un acceso suficiente, aunque sea de manera puntual, a la energía y los materiales pertinentes. No debemos perder de vista las palabras de advertencia del economista

rumano cuando señalaba que la materia es un factor tecnológico tan crucial como la energía (Georgescu-Roegen, 2021). O, dicho de otro modo, la energía sin una mediación material, que por supuesto está sujeta a las dinámicas de deterioro de la termodinámica, no puede incorporarse a los procesos económicos. No obstante, para que podamos hablar de una tecnología (o un metabolismo) "viable" no nos sirve el concurso de cualquier tipo de recetas o procedimientos factibles. En "The crisis of natural resources" Georgescu-Roegen puntualizaba que:

Para ser viable, una tecnología debe ser capaz de hacer mañana exactamente lo que ha hecho hoy. Para lo que aquí nos interesa, podemos hacer abstracción de la posibilidad real de que el factor malthusiano pueda ocasionar la interrupción de una tecnología viable. Sin embargo, no deberíamos ignorar el hecho de que el agotamiento de algunos recursos ambientales que son vitales tendría, obviamente, el mismo efecto (Georgescu-Roegen, 2021: 107).

Siendo así, para construir una tecnología viable, el mero ingenio humano capaz de diseñar procedimientos factibles no basta. Es además necesario el concurso de un adecuado equilibro metabólico entre los inputs y outputs materiales-energéticos implicados en el proceso de producción, empleo y mantenimiento de dicha tecnología. O expresado con otras palabras, "una tecnología viable es aquella que, al igual que una especie biológica viable, es capaz de reproducirse" (Georgescu-Roegen, 1978: 18). Y para ello, es imprescindible no olvidar que los elementos fondo que sostienen los procesos de la tecnología revisten un carácter finito, fundamentalmente porque nuestra capacidad de poner a nuestro servicio el flujo energético solar es limitada. Por ello, "toda tecnología viable se apoya en algún combustible, en algunos recursos ambientales, pero ninguna tecnología puede crear su propio 'combustible'" (Georgescu-Roegen, 1984: 29).

Desde este punto de vista, para Georgescu-Roegen solo han existido dos creaciones con el potencial de dar lugar a tecnologías viables, es

decir, “capa[ces] de producir y mantener sus propios cimientos (mientras los recursos naturales necesarios estén accesibles)” (Georgescu-Roegen, 2021: 146). La primera, el descubrimiento de cómo encender y usar el fuego. Fue gracias a la conversión cualitativa de energía que este posibilita, y a su capacidad de generar reacciones en cadena, como las sociedades humanas fueron pudieron construir todo un metabolismo viable y autosostenido, que Georgescu-Roegen denomina la “tecnología de Prometeo I” o la “Edad de la madera”. Su base: la capacidad de producir herramientas que permitían contar con leña suficiente para seguir talando leña y, además, poner en marcha todo el resto de las actividades sociales. Prometeo I agonizó precisamente porque su voracidad diezmó los bosques y se enfrentó a la falta de combustible, un recordatorio palmario de que matter matters too, como solía repetir Georgescu-Roegen.

La segunda de estas invenciones habría sido la caldera, que ha permitido también una transformación energética cualitativa (de calor a movimiento), ha sido capaz de producir reacciones en cadena y ha garantizado durante décadas la condición de su mantenimiento: la extracción de combustibles fósiles en cantidad suficiente para poder seguir extrayendo más combustibles fósiles y, además, mantener en buen funcionamiento el resto del metabolismo. Esta tecnología, la de Prometeo II, es la que hasta el día de hoy ha mantenido a flote nuestra exuberancia industrial. Pero ¿podrá seguir haciéndolo en el futuro cercano ante las dinámicas de agotamiento de los combustibles fósiles, pero también de una parte importante de los recursos de alta exergía del stock terrestre de donde hemos venido extrayendo materiales para fabricar nuestros utensilios más importantes y hacer posible el uso efectivo de la energía fósil en el contexto de nuestra tecnología?

Georgescu-Roegen no tuvo duda alguna de que la respuesta a la pregunta anterior era inevitablemente negativa y que Prometeo II estaba ya viviendo su ocaso. Y precisamente por ello trató de evaluar el potencial de las tecnologías de captación de energía solar que hoy se han popularizado y se extienden por todo el mundo. La pregunta que se hizo en artículos como “Technology assessment: The case of the direct use of solar energy” fue: ¿Podemos pensar una tecnología “renovable”, un nuevo Prometeo III, en el que a la

caldera la sustituyan los paneles fotovoltaicos, los aerogeneradores o las presas hidráulicas? Es decir, ¿son estas recetas factibles también viables en el sentido de ser capaces de reproducirse a sí mismas después de haber sido instaladas a partir de la tecnología ahora mismo existente?

Su respuesta, por desgracia, fue un "no" rotundo. Desde su punto de vista, todas las recetas factibles para el uso de la energía solar tenían que entenderse como "parásitos" de la tecnología fósil. No solo, como cualquier otro parásito, estarían destinadas a desaparecer en cualquier escenario de declive o fin de los combustibles fósiles, sino que además hacían todo lo contrario a poner en marcha reacciones en cadena y garantizar un excedente energético para el sustento de la sociedad. Las "energías renovables" causaban un déficit en el balance energético, ya que consumían indirectamente más energía total de la que eran capaces de producir en forma de electricidad. La conclusión de Georgescu-Roegen era lapidaria:

Varias recetas factibles para sacar partido de la energía solar están aquí, y eso es indudable. No obstante, todavía no existe una tecnología solar viable. La razón es muy sencilla. La intensidad de la radiación solar que llega a la superficie es extremadamente baja y, por tanto, es necesario un enorme despliegue de materiales para poder captarla. Es muy posible que esta dificultad sea eventualmente insuperable, ya que la intensidad de la radiación solar es una constante cosmológica más allá de nuestro control (Georgescu-Roegen, 1978: 20).

Y por ello, su consejo, del que nos separan ya más de cuatro décadas, fue dar prioridad a un ejercicio de alfabetización ecosocial capaz de convencer a la población en general de la necesidad imperiosa de reducir drásticamente nuestro consumo de energía y materiales. El decrecimiento fue para Georgescu-Roegen la única alternativa realista frente a la "tecnolatría" y la "tecnolofilia" (Almazán Gómez, 2021), que el conjunto de la economía estándar y gran parte de la sociedad exhibían en su época y mantienen hasta el

día de hoy. Georgescu-Roegen concluyó que el único programa viable era no caer en las garras del mito de la tecnología (Georgescu-Roegen, 1979) y poner en marcha un decrecimiento energético y de materiales que nos permitiera ganar tiempo mientras esperábamos la venida de un incierto Prometeo III. De no hacerlo, sentenció el autor rumano, "no necesitaremos un Prometeo que nos traiga un nuevo fuego, sino uno para resucitarnos a nosotros mismos de nuestras propias cenizas" (Georgescu-Roegen, 2021: 114).

En busca de nuevas tecnologías viables:

energías renovables realmente renovables (ER^3)

Por desgracia, en lo esencial, nuestra situación no ha cambiado apenas respecto a aquella que Georgescu-Roegen analizaba con gran lucidez en las décadas de 1970 y 1980. Aunque en algunos casos las "energías renovables" han sido capaces de superar el problema de su naturaleza energéticamente deficitaria, su balance energético medio sigue siendo pobre y, sobre todo, su naturaleza de parásito fósil se mantiene intacta. Además, el contexto general en el que una transformación de nuestra tecnología debería desarrollarse ha empeorado notablemente, con una trama de la vida más dañada que nunca y sociedades más desiguales, polarizadas, desgarradas y conflictivas que en tiempos de Georgescu-Roegen. En este contexto de colapso ecosocial nuestra tecnología se precipita, con más rapidez que nunca, por el desagüe insostenible de las recetas no viables.

Siendo así, ¿podemos hoy, con una población humana y un nivel de consumo elevados exponencialmente, conformarnos con una estrategia basada en el ahorro y la conservación, con un descenso energético y de materiales que nos compre un tiempo que ya no tenemos para seguir esperando indefinidamente la llegada de un incierto Prometeo III? Nosotros creemos que no, que ha llegado la hora de abandonar toda esperanza mesiánica en una tecnología

salvadora y romper de raíz con el negacionismo energético (Casal Lodeiro, 2020) y con nuestro longevo ingreso en lo que Bruno Latour ha denominado el delirio epistemológico (Latour, 2019: 39).

Serían muchas las transformaciones políticas, económicas y sociales que deberían concurrir para la construcción de un marco ecosocial alternativo al actual, que de manera cada vez más evidente nos lanza de lleno contra el muro de un colapso violento, ecocida y genocida. Pero si limitamos nuestro foco al ámbito de la tecnología, veremos que es necesario transformar tanto nuestro metabolismo como el conjunto de relaciones imaginarias y sociales que le han dado forma durante siglos. Necesitamos, como hemos defendido en otros lugares, unas nuevas técnicas humildes que sustituyan a las actuales tecnologías imperiales (además de capitalistas, modernas, coloniales y ecocidas).

En el ámbito energético, lo anterior significa abandonar el actual plan B para comenzar a trabajar en un nuevo plan C (Almazán y Riechmann, 2021). En el marco de un abandono del imperativo de crecimiento capitalista y con el concurso de una profunda democratización de la sociedad, toda respuesta al dilema renovable tiene necesariamente que pasar por el abandono de la pretensión de un escenario de continuidad suave con la tecnología que Georgescu-Roegen denominaba Prometeo II. Los combustibles fósiles y todo el metabolismo que los han rodeado han supuesto una excepcionalidad tan irrepetible como destructiva. Salvo si creemos en los tecnomilagros, no es razonable esperar que en el futuro vayamos a poder volver a mantener el nivel de exuberancia energética al que nos hemos hecho adictos. Y por ello es urgente que abandonemos cuanto antes nuestra tecnología y desarrollemos una nueva.

Esta tecnología no será la de unos captadores industriales de energías renovables que, en esencia, no son más que parte del metabolismo fósil y, además, están exacerbando el deterioro y el agotamiento de los bienes fondo en los que estos se sustentan. Necesitamos una tecnología, en términos del economista rumano, cuyo corazón sean “energías renovables realmente renovables” (ER^3) (González Reyes, 2021). Estas, por un lado, tienen que construirse haciendo uso exclusivo del propio flujo generado por el

Sol, es decir, a partir de energías renovables. Además, con el fin de limitar el crucial problema de agotamiento de stocks de alta calidad exergética al que nos enfrentamos, deberíamos priorizar la alianza simbiótica con organismos vivientes, por ejemplo mediante una recuperación robusta de la biomasa (pero atención, los peligros de un extractivismo de biomasa son grandes: recordemos lo ya apuntado con respecto al agotamiento de Prometeo I). En caso de usar materiales sujetos a dinámicas extractivas, habría que intentar que estos fueran abundantes, fácilmente reciclables y manipulables haciendo uso de energías renovables (como el hierro) y sin grandes requerimientos para su purificación (como el granito).

Por otro lado, para optimizar su potencial energético y desligarlos en la medida de lo posible de los metabolismos industriales, sería importante que estos captadores no se centraran exclusivamente en la producción de electricidad, inútil sin todo un conjunto de instalaciones industriales y de herramientas y utensilios a día de hoy inseparables de Prometeo II. Así, habría que priorizar la realización de trabajo mecánico directo a través de, por ejemplo, molinos hidráulicos o eólicos que sirvieran para realizar trabajo industrial o moler granos. A todo ello, además, debería acompañar una recuperación rotunda de los cuerpos animales, humanos y no humanos, como vectores energéticos clave. Al fin y al cabo, los organismos son una de las vías más eficaces con las que contamos para transformar la energía solar difusa en el planeta en todo el resto de energías.

Lo anterior debería ir de la mano con toda una colección de características que excederían lo puramente metabólico, en las que no entraremos ahora. Entre ellas, una visión no instrumental de nuestra relación con Gaia (Castro Carranza, 2020) que sustituya la dominación por el asombro y la contemplación, un control comunitario y democrático, un nivel de sofisticación compatible con la comprensión del grueso de la población y, por supuesto, una transformación ecosocial que ponga la vida en el centro (Mies y Shiva, 2014) y reajuste sus necesidades, sus deseos y sus imaginarios a un nivel de consumo de energía y materiales sensiblemente inferior al actual (Lallana et al., 2021).

Conclusiones

Atravesamos una crisis ecosocial (no solo climática ni energética) muy profunda a la que el plan B por el que gran parte de nuestras sociedades rema no va a ser capaz de hacer frente. Para comprender en mayor profundidad la razón de este inevitable fracaso, hemos visto que los trabajos que Georgescu-Roegen dedicó a la tecnología en la fase posterior a la publicación de La ley de la entropía y el proceso económico pueden ser de enorme utilidad, especialmente, la distinción entre receta factible y tecnología viable. Para la evaluación de la viabilidad de una tecnología, debemos tomar en consideración que la consecución de objetivos materiales, la factibilidad, resulta inseparable de consideraciones sobre las condiciones de fondo y flujo —sometidas a las leyes que rigen la termodinámica de sistemas— que sustentan dichos procesos.

Desde esa perspectiva, el actual conjunto de tecnologías renovables que se nos presenta como la alternativa a nuestra tecnología fósil (Prometeo II para Georgescu-Roegen) no puede suponer un sustituto viable. Entre otras cosas porque, en el fondo, no son más que parásitos de dicho Prometeo II y no tienen la capacidad de reproducirse en el tiempo en ausencia de un flujo estable de combustibles fósiles. Por ello, necesitamos un plan C que se base en la alteración drástica del conjunto de relaciones materiales-energéticas que se dan entre los sistemas humanos y el resto de la biosfera, y en un cambio integral de nuestra tecnología/ metabolismo.

Como no resulta razonable confiar ciegamente en un nuevo invento milagroso que pueda dar lugar a un Prometeo III susceptible de dar continuidad a las actuales estructuras socioeconómicas —la profundidad y aceleración del colapso ecosocial en curso lo desaconsejan—, necesitamos poner en marcha un desmontaje de Prometeo II acelerado que se base en el desarrollo asimismo acelerado de nuevas técnicas humildes, que en lo energético podrían tomar la forma de energías renovables realmente renovables (ER^3).

Estas, en síntesis, tendrán que partir de la base de un obligatorio

reacomodo de nuestros sistemas sociales y económicos a los límites dibujados por los stocks planetarios de recursos no renovables y por la conservación de la integridad funcional de la trama de la vida. Así, deberá abandonar la destructiva dependencia actual del extractivismo de stocks de alta exergía para pasar a depender básicamente del uso del flujo solar y sus vías de concentración natural (orografía, etc.). Cuando utilice materiales, priorizará precisamente aquellos que son abundantes, reciclables e intregrables en el conjunto de las dinámicas de Gaia.

A orillas del río Passaic: un diálogo entrópico entre Robert Smithson y Nicholas Georgescu-Roegen

[72]Jaime Vindel*

La imagen congelada del cosmos:

minimalismo y colapso industrial

En junio de 1966, Robert Smithson publicaba en la revista Artforum su texto “Entropía y los nuevos monumentos”, donde acuñaba una de sus primeras formulaciones de un concepto, el de entropía, que marcaría la trayectoria del artista hasta su muerte en julio de 1973. Para Smithson, el “desagüe de energía” al que damos el nombre de entropía materializa una suerte de inversión temporal, por la cual lo obsoleto no proviene del pasado, sino del futuro.

Smithson representa en este sentido la antítesis exacta del concepto de historia de Walter Benjamin (Benjamin, 2021). Ambos criticaban la linealidad de la historia positivista, pero desde ópticas radicalmente diferentes. Allí donde Benjamin veía la posibilidad de que los acontecimientos revolucionarios del presente compusieran una imagen dialéctica iluminada por las luchas del pasado, Smithson detectaba cómo la entropía de la civilización industrial estaba presionando de manera distópica la actualidad desde el futuro. Las ruinas ya no eran el residuo desolado que el Angelus de Benjamin (inspirado en la imagen de Paul Klee) contemplaba hacia atrás, impelido por el viento del progreso, sino la fría normalidad del porvenir. La imagen del cambio histórico no consistía en disparar contra los relojes con objeto de detener la temporalidad burguesa, como habían creído los obreros franceses en 1830, sino en los efectos que la ley de la entropía implicaba a lo largo del

tiempo.

Aunque el artista norteamericano alumbraba resquicios de esperanza, estos tendían a resultar ilusorios. Es cierto que el colapso de la civilización industrial, presagiado por el apagón eléctrico que motivó el ensayo de Smithson, podía generar eventualmente "una alegría casi cósmica", como la que se extendió en 1966 por diversas ciudades del nordeste de Estados Unidos (Smithson, 2009: 15-31). Pero el destino último de esa civilización se identificaba con la imagen del desierto y sus relojes pulverizados.

Smithson relacionó desde muy pronto la entropía con una visión escéptica del desarrollo industrial. Desde su punto de vista, las formas industriales del arte minimalista, con su aspecto pulido y liso, ocultaban la debacle entrópica de los dispositivos tecnológicos. Emergían como monolitos luminosos de un tiempo detenido, ocultando torpemente la acción que la entropía, como una suerte de bajo continuo de la historia cósmica, ejercía sobre las infraestructuras de posguerra y la industria cultural. Smithson afirmaba: "Los suburbios, la expansión descontrolada de las ciudades y el número infinito de urbanizaciones del boom de la posguerra han contribuido a la arquitectura de la entropía" (Smithson, 2009: 18). Es un pasaje que podría haber sido suscrito por Max Horkheimer y Theodor W. Adorno. El despliegue de las formas de vida que relacionamos con el American way of life, tematizado por los filósofos de la Escuela de Frankfurt en Dialéctica de la ilustración (1944) (Horkheimer y Adorno, 2001), arrojaba una cara B que comenzaba a tornarse evidente a finales de los años sesenta, coincidiendo con el auge del movimiento ecologista en Estados Unidos.

En ese contexto, el arte minimalista actuaba como una suerte de notario de los efectos que la industrialización había tenido sobre el espacio y las almas. Lo insípido, lo aburrido, lo repetitivo, la vacuidad, todos estos componentes practicaban un borrado de la historia que trataba de disimular el carácter implacable de la entropía. En un momento en que la aceleración de la crisis ecológica se encontraba ya desplegada, la historia sociocultural parecía entrar en un bucle autorreferencial. Aunque el 68 vendría poco después a deshacer ese espejismo, Smithson detectaba aquí un

elemento de crítica que, con posterioridad, sería retomado por la teoría posmoderna en torno a las poéticas del pastiche, la copia y el simulacro. Como si la lenta cancelación del futuro, tematizada en relación a la posmodernidad por autores como Fredric Jameson (1991) o Mark Fisher (2017), hubiera sido anticipada por el vaticinio minimalista sobre la muerte entrópica de la civilización industrial.

El arte minimalista incorporaba una mirada entre irónica y autorreflexiva sobre las ambiciones revolucionarias del constructivismo y el productivismo soviéticos de los años veinte (Foster, 2001: 39-72). Estos movimientos habían detectado en la industrialización del arte y la cultura un modo de situar ambos al compás del tiempo histórico revolucionario. Menos esperanzado, el constructivismo minimalista de los sesenta decretaba, en opinión de Smithson, la "conciencia del colapso final de la tecnología" (Smithson, 2019: 17). Frente al utopismo característico de otros vanguardistas soviéticos, en uno de los pasajes de su ensayo Smithson se remitía al arte no objetivo de Kasimir Malevich, que llevando la volatilización de las formas artísticas hasta el extremo acabaría por asociarlas con la imagen del desierto (Smithson, 2019: 19).

El desierto adquiría entre los artistas de la tierra norteamericanos unas resonancias específicas. Sus intervenciones sobre ese espacio potencialmente infinito no incluían referencias a los imaginarios de la conquista del Oeste. Y, sin embargo, varias de ellas convocan la sensibilidad que asociamos con el sublime americano, fuertemente vinculado al proceso de expansión "civilizacional" (Santamaría, 2005). Smithson percibía en el desierto el espacio entrópico por excelencia, una ciudad solar del futuro inspirada por el cuento de Jorge Luis Borges titulado "El inmortal" (1947) (Speranza, 2017: 27 y ss.). En él, el tribuno militar romano Marco Flaminio Rufo, dotado del don y la maldición de la inmortalidad, encuentra la ciudad de los inmortales en su eterno decurso a lo largo de los tiempos. Hastiado de la abulia existencial que rodea su condición, busca ansiosamente las aguas que le devuelvan la posibilidad de conocer la muerte. Las formas frías y paralelepípidas de la ciudad borgiana de los inmortales, "hechas a partir de estructuras y superficies nulas", recordaban a Smithson a las que producían

contemporáneamente los artistas minimalistas. El minimalismo y el desierto colapsaban pasado y futuro. Los "objetos específicos" de colegas como Donald Judd, interesado por las investigaciones de la geología y la mineralogía, escenificaban la muerte térmica del modernismo artístico, una suerte de sinécdoque cultural de la que afectaba al conjunto del universo (Smithson, 2019: 24).

Smithson y Georgescu-Roegen: el encuentro

Los referentes intelectuales de Smithson en torno a la cuestión de la entropía eran variopintos y empleados de modo libre[73]. Eso, que podría ser percibido como un síntoma de endeblez teórica, era en realidad el detonante de su productividad metafórica. A propósito de la teoría de la comunicación, Smithson aludía a la obra de A. J. Ayer y relacionaba la falsedad intrínseca de todo acto comunicativo con la segunda ley de la termodinámica. La física había interesado también al artista estadounidense, quien en uno de los pasajes del ensayo sobre la entropía y los nuevos monumentos citaba el libro de Percy Williams Bridgman The Nature of Thermodynamics (Bridgman, 1943).

En todo caso, la relación de Smithson con la entropía fue evolucionando con los años. No parece casual que hacia el final de su vida experimentara el impacto ocasionado por la lectura del libro de Nicholas Georgescu-Roegen La ley de la entropía y el proceso económico (1971). En una entrevista realizada pocos meses antes de morir, Smithson vinculaba de forma directa su ensayo sobre los "nuevos monumentos" con el modo en que el economista rumano percibía "entrópicamente" todos los "procesos de manufactura". Algunas de sus respuestas parafraseaban fragmentos del estudio de Georgescu-Roegen. Smithson extendía la condición residual de los procesos productivos al propio mundo del arte, cuyo desarrollo de posguerra era un síntoma de la inercia que afectaba al conjunto de la civilización industrial: "Podemos construir coches más grandes y mejores, pero eso va a significar pilas de residuos más grandes y mejores. Así que puede ser que el resultado real de toda producción,

incluida la producción de arte, sea una especie de residuo, o un sistema obsoleto" (Roth, 2004: 93).

A su vez, Smithson exploraba las potencialidades de los usos metafóricos del concepto de entropía. La dispersión del significado del arte, su tendencia "a perderse en otros significados", había promovido la confluencia transversal de las prácticas artísticas con una serie de saberes más amplios. La imaginación artística de Smithson era un producto más de la tendencia sistémica a la disipación. El artista norteamericano incorporaba las lecciones termodinámicas de Georgescu-Roegen como una forma de autorreflexión sobre el estatuto entrópico del arte contemporáneo. La puesta en cuestión de los límites tradicionales del arte implicaba tanto una reflexión sobre su estatuto conceptual, como el cuestionamiento de la consistencia física (e ideológica) de la obra de arte. La trayectoria de Smithson se movió, en este sentido, en una ambivalencia entre la afirmación de los límites físicos al desarrollo industrial y la supresión de los límites de las formas artísticas. Lo que Rosalind Krauss denominó como "la poética del campo expandido" es un efecto de ese tránsito desde el objeto al desierto, por el cual las prácticas artísticas comenzaron a desarrollar estrategias estéticas como caminar por una ciudad capturando imágenes de las infraestructuras, construir un observatorio astronómico o fundar un sindicato artístico (Krauss, 2002: 59-74).

Todo ello facilitó la conexión del arte de vanguardia con discusiones sociopolíticas más amplias. En el caso de Smithson, la influencia creciente de su obra corrió en paralelo al auge del nuevo movimiento ambientalista. Su imaginación entrópica había entrado en tensión con aquellos imaginarios ecologistas para los cuales los procesos industriales y económicos eran percibidos, de manera unilateral, como una amenaza a sus propuestas conservacionistas. En ese sentido, el artista norteamericano compartía con Georgescu-Roegen la pretensión de no desvincular la vertiente física y económica de la entropía, una consideración que entrañaba aceptar el carácter antropomórfico de la termodinámica, su relación con la satisfacción de las necesidades humanas (Georgescu-Roegen, 1996: 347 y ss.).

Smithson profundizaba en esa concepción antrópica de la entropía

en otra entrevista concedida durante ese mismo año, donde de nuevo el eje del diálogo era el entusiasmo que le había suscitado la lectura de Georgescu-Roegen. El título de la entrevista era explícito. A esas alturas, Smithson consideraba su propia obra como un intento de "hacer visible la entropía" (entropy made visible). El diálogo con Alison Sky se iniciaba aludiendo a manifestaciones entrópicas tan diversas como Humpty Dumpty (el huevo antropomórfico que conversa con Alicia en el País de las Maravillas y cuya caída generó una situación irreversible), al caso del Watergate, por entonces reciente, o El gran vidrio de Duchamp. En todos estos casos se trataría de sistemas cuyo deterioro y desmoronamiento impide su posterior recomposición. Smithson también elucubraba sobre la asociación entre el demonio de Maxwell y la entropía planteada por la arquitectura de Buckminster Fuller o la cibernética de Norbert Wiener, así como en torno al impacto del concepto en la teoría de la información (Smithson, 1996: 301-309).

A continuación, Smithson destacaba que la mayor contribución del ensayo de Georgescu-Roegen había consistido en aproximar las variables físicas a las ecuaciones económicas[74]. El artista relacionaba esa articulación entrópica entre física y economía con temas como la crisis energética global, en la cual detectaba los límites que afectaban a los sistemas termodinámicos cerrados; o los problemas de la llamada economía circular, que pasaba por alto la imposibilidad material de cerrar el reciclaje de residuos. En este punto, Smithson retomaba los argumentos de Goergescu-Roegen en torno a la relación entre entropía, valor y placer de vivir para subrayar una tendencia ineluctable en el desarrollo económico: el modo en que la satisfacción creciente de necesidades humanas genera también externalidades crecientes sobre el medioambiente. La montaña de residuos entrópicos que se acumulaba en los paisajes naturales era la consecuencia lógica de la proliferación del despilfarro. Nuevamente, la inspiración casi literal en algunos pasajes de La ley de la entropía y el proceso económico resulta evidente:

Parece que cuando se habla de preservar el medioambiente, o de

conservar energía o del reciclaje, se llega inevitablemente a la cuestión de los residuos, y yo postularía que los residuos y el placer están en cierto sentido unidos. Hay una especie de principio de placer que surge de la preocupación por los residuos, por ejemplo, si queremos un coche más grande y mejor, vamos a tener una producción de residuos más grande y mejor. Así que hay una especie de ecuación entre el disfrute de la vida y el despilfarro (Smithson, 1996: 303).

Smithson añadía además una interesante contraposición entre el despilfarro y el lujo. Si bien ambos se caracterizaban por su inutilidad, este último interpelaba al gusto y la sensibilidad. Poseía, por tanto, una dimensión estética. Sin embargo, el artista no profundizaba en esta cuestión, saldada simplemente con una asociación entre el lujo, la clase media y el consumo de calidad[75]. El lujo poseía una cualidad negativa, en una línea muy similar a la opinión expresada por Georgescu-Roegen al criticar "el lujo extravagante" que, "alcanzado por muchas sociedades pasadas y presentes nos ha llevado a olvidar el hecho más elemental de la vida económica, que entre todas las cosas necesarias para la vida únicamente las puramente biológicas son absolutamente indispensables para la supervivencia" (Georgescu-Roegen, 1996: 348).

Se cegaba así la posibilidad de plantear una articulación más sutil entre necesidad y sensibilidad que resignificara en un sentido popular el propio concepto de lujo. Para Georgescu-Roegen, el lujo era una manifestación inevitable del modo en que las sociedades excedentarias, basadas en tecnologías exosomáticas, generan unas elites extractivas y promueven la desigualdad social. Esta comprensión un tanto estrecha del lujo, donde aparecía enfrentado dialécticamente con la pobreza[76], obviaba la importancia que la noción de "lujo comunal" había tenido en algunos de los acontecimientos más relevantes de la historia insurreccional moderna (Ross, 2015). Y generaba además la impresión de poder retrotraer la biología humana a un plano que excluyera la estética y la cultura como espacios de construcción de la subjetividad, siempre irreductible al análisis físico-económico de las necesidades

básicas.

Termodinámica: entre la ciencia de la energía

y los imaginarios culturales

Georgescu-Roegen era consciente de la dimensión antropomórfica de la entropía, de su vínculo con el valor económico entendido como el conjunto de los procesos de transformación de baja entropía en alta entropía. En el capítulo dedicado a la relación entre entropía, valor y desarrollo, el economista afirmaba que "la termodinámica tiene un regusto a antropomorfismo [...]; la idea de que el hombre puede pensar en la naturaleza en términos totalmente no antropomórficos es una patente contradicción" (Georgescu-Roegen, 1996: 347-348). De hecho, el propio descubrimiento de las leyes de la termodinámica había respondido a razones económicas, con los experimentos del ingeniero Sadi Carnot en torno a la relación entre el calor libre y el trabajo mecánico. Si la termodinámica era ante todo "una física del valor económico" y se "desarrolló a partir de un problema económico", entonces no podía dejar al margen las formas de organización del trabajo humano, particularmente durante su fase industrial (Georgescu-Roegen, 1996: 360-361). En mi opinión, es en este aspecto donde reside la posibilidad de articular la herencia de Georgescu-Roegen, con una reconsideración ecológica de la crítica marxiana de las relaciones capitalistas de producción.

La posición teórica de Georgescu-Roegen resulta relevante a la hora de cuestionar aquellos imaginarios ecologistas que, en su justa crítica del antropocentrismo, tienden a evadir el análisis de los procesos económicos. Una relectura contemporánea de su obra le hacer surgir como una suerte de puente entre los nuevos materialismos, interesados en extender el concepto de agencia al conjunto de la naturaleza, y la obra de Marx. Por un lado, Georgescu-Roegen cuestionaba el antropocentrismo que Marx concedía al trabajo humano como productor de valor, incluyendo

en la relación entre fondo y flujo los servicios procedentes de las máquinas y los recursos naturales (Georgescu-Roegen, 1996: 299-300). Pero a su vez no dejaba de relacionar esa redefinición físico-económica del valor con la especificidad de los conflictos humanos, una cuestión que en ocasiones es abordada de modo lateral por los nuevos materialismos.

Finalmente, considero que, por momentos, el acento antropológico que Georgescu-Roegen ponía en la relación entre entropía y economía le hacía perder de vista la singularidad que los intercambios sociometabólicos adquieren en el contexto de la modernidad capitalista. Pienso, por ejemplo, en los pasajes en los que relativiza las opiniones de Ruskin y Marx en torno a la fractura estética y material derivada del proceso de acumulación originaria y el despliegue de la modernidad industrial[77]. Eso no resta un ápice de interés a su propuesta, sino que invita más bien a un esfuerzo de síntesis entre los enfoques de la economía ecológica, del ecomarxismo y de otras corrientes teóricas.

En La ley de la entropía y el proceso económico, la concepción termodinámica oscilaba entre su descripción física (como una ley cósmica de validez universal), su dimensión antropológica genérica (la entropía considerada como una transformación económica de la materia, asociada a los diferentes usos e invenciones técnicas) y su inscripción histórica más concreta en torno al desarrollo de la revolución industrial. A esas tres capas de comprensión de la termodinámica, estudios recientes han sumado otras. Una de ellas se relacionaría con el factor sociohistórico de la termodinámica, entendida como una ciencia capacitada para medir el gasto energético por unidad de tiempo (la productividad). Esta medición adquirió un contenido altamente político en un contexto en el que la sustitución de la energía hidráulica (más intermitente) por la energía fósil (más dispuesta a realizar trabajo en cualquier momento) marcó el tránsito desde las formas de explotación que Marx denominó “plusvalía absoluta” (el número total de horas trabajadas) a la plusvalía relativa (la intensidad de la explotación por cada fragmento temporal)[78]. Pero la energía constituyó también un discurso estético-cultural, que gestó en torno a sí toda una serie de narrativas e imágenes con una fuerte carga ideológica, como las que asociaban la entropía con las vidas disipadas de los sujetos

subalternos o aquellas que convertían a Gaia en una inmensa máquina de vapor (Daggett, 2019; Vindel, 2020).

La comprensión de la energía presenta, por tanto, una cuádruple cara: física, económica, sociopolítica y cultural. El vínculo entre las dos primeras aparecía analizado de manera minuciosa por Georgescu-Roegen. Para el economista, la diferencia entre la entropía que afecta al resto de la materia y la física de los procesos económicos es que los segundos están condicionados por la "actividad intencional" y orientados a satisfacer aquellas necesidades que conforman el "placer de vivir" (Georgescu-Roegen, 1996: 247 y ss.). El nudo entre la segunda y la tercera ha ocupado más recientemente a Andreas Malm, interesado en explorar la génesis industrial del vínculo entre los combustibles fósiles como energía primaria de los procesos industriales y las nuevas formas de explotación de la clase trabajadora y de la naturaleza (Malm, 2020). Sin embargo, resulta fundamental subrayar cómo los imaginarios culturales de la energía interaccionaron con esos niveles anteriores. Solo de esa manera podremos valorar el alcance hegemónico de los relatos generados en torno a ella durante los dos últimos siglos, entre los que destaca aquel que asocia las formas del bienestar social con el progreso industrial indefinido. Hasta el día de hoy, el ámbito donde se ha naturalizado con más fuerza esa idea del progreso es la infraestructura tecnológica. Y ese fue justamente el foco de la obra del propio Smithson.

Un mundo lleno de agujeros: paseos entrópicos e industria cultural

En unos de sus proyectos más célebres, "Un recorrido por los monumentos de Passaic, Nueva Jersey" (1967), Robert Smithson retomaba las reflexiones que antes había formulado en torno a los monumentos minimalistas. Acompañado de su Instamatic 400, el artista tomó fotografías de un espacio, el de las infraestructuras en construcción en torno al río Passaic, que percibía como ya

propiamente fotográfico: una imagen congelada de la civilización industrial, iluminada por un tímido sol[79]. Esas fotografías suburbiales tenían un carácter anticipatorio, como si trajeran al descanso sabatino los destellos entrópicos del futuro y el fin del progreso: “Como era sábado, muchas máquinas estaban apagadas, por lo que parecían criaturas prehistóricas atrapadas en el lodo o, mejor, máquinas extintas: dinosaurios mecánicos con la piel arrancada” (Smithson, 2009: 91). La cosmovisión ruinosa del desarrollo industrial propuesta por Smithson se manifestaba como el reverso de la ruina romántica. Las capturas fotográficas representaban ruinas invertidas, en la medida en que daban cuenta de las edificaciones e infraestructuras que iban a ser construidas, no de aquellas que habían sido ya demolidas. Y, sin embargo, justamente por ese motivo, por nacer como ruinas del futuro, se encontraban cargadas de un intenso significado histórico, o más bien, de un sentido entrópico de lo temporal. Un tiempo que resultaba a la vez mucho más profundo (de una escala geológica) y mucho más cotidiano (pues se infiltraba en el día a día). Lo que sigue es un extracto del texto que acompañó a la experiencia, una radiografía poética de la entropía infraestructural:

Esta mise-en scène antirromántica sugiere la desacreditada idea de tiempo y muchas otras “pasadas de moda”. Pero los suburbios existen sin un pasado racional, e independientemente de los “grandes eventos” de la historia. Bueno, tal vez haya algunas estatuas, una leyenda y unas cuantas curiosidades, pero no un pasado: solo lo que aparenta ser un futuro. Una utopía sin un fondo, un lugar donde las máquinas son perezosas y el sol se ha vuelto de vidrio, y un lugar donde la Planta de Concreto de Passaic (River Drive número 253) hace un buen negocio con PIEDRA, BITUMINOSOS, ARENA y CEMENTO. En comparación con la Ciudad de Nueva York, que da la impresión de ser sólida y compacta, Passaic parece llena de “agujeros”. Y esos agujeros son, de cierta forma, los vacíos monumentales que definen, sin intentarlo, las huellas-recuerdo de una serie abandonada de futuros. Tales futuros se descubren en películas utópicas de clase B y son después imitados por el “suburbanita” (Smithson, 2009: 92).

La segunda ley de la termodinámica había sido asociada por la ciencia del siglo XIX con la muerte térmica del espacio estelar. En el contexto de finales de los sesenta, Smithson actualizaba esa metáfora en relación a la industria cultural, estableciendo un juego semántico con los imaginarios del star system de Hollywood. Estos también estaban sometidos a la tiranía de las leyes de la energía, a una "irreversibilidad entrópica de la eternidad": "El cine ofrece un escape temporal o ilusorio de la disolución física. La inmortalidad artificial de la película le da al espectador una ilusión de control sobre la eternidad. Pero las 'superestrellas' se están desvaneciendo" (Smithson, 2009: 95). En los pasajes finales de la crónica que acompañó al registro fotográfico de los monumentos de Passaic, Smithson evocaba de nuevo "El inmortal" de Borges. El paisaje industrial de Nueva Jersey emergía como la nueva Roma entrópica, el verdadero desierto de lo real. Si Smithson había relacionado previamente al desierto con la disolución del futuro anunciada por las estructuras minimalistas, ahora identificaba esa volatilización del porvenir en el cajón de arena de un parque infantil. La alegría fugaz de la infancia y el sepulcro abierto de la entropía coincidían en el "espejo ilusorio de la eternidad":

El último monumento era una caja de arena, o la maqueta de un desierto. Bajo la mortecina luz de la tarde de Passaic, el desierto se convirtió en un mapa de desintegración y olvido infinitos. Este monumento de partículas diminutas chispeaba ante la luz estéril del sol, y recordaba a la triste disolución de los continentes, a la evaporación de los océanos —no más bosques verdes y altas montañas—; todo eso existía donde millones de granos de arena (un vasto depósito de huesos y rocas) se desmenuzaban hasta convertirse en polvo. Cada grano de arena era una metáfora exánime que equivalía a la atemporalidad, y para descifrar tales metáforas era necesario atravesar el espejo ilusorio de la eternidad. De algún modo, esta caja de arena se duplicaba para conformar un sepulcro abierto, un sepulcro en el que los niños jugaban con alegría (Smithson, 2009: 94).

No parece casual que la figura de Smithson resulte aún hoy evocadora para colectivos artísticos que tratan de releer en clave psicogeofísica la herencia del situacionismo. El contacto psíquico con la ciudad se redefine a través de estrategias de deriva que plantean una aproximación geológica al paisaje tecnológico. En palabras del propio Smithson, sus paseos conformaban una geología abstracta donde se tocaban tangencialmente la experiencia de la materia bruta y la actividad mental, generando un efecto "des-arquitectónico" sobre la percepción de las infraestructuras[80]. Su propuesta consistía en una deconstrucción materialista de la tecnología que ha resultado inspiradora para diversos artistas contemporáneos: "Al rechazar los 'milagros tecnológicos', el artista comienza a conocer los momentos corroídos, los estados carboníferos del pensamiento y la contracción de la marisma mental en el caos geológico, en el estrato de la conciencia estética. Los residuos entre la mente y la materia son una mina de información" (Smithson, 2019: 122). Smithson cuestionó la teoría mcluhaniana de los medios, subrayando que la asociación entre medios y mensaje silenciaba su materialidad geológica (Parikka, 2021, 29). La aldea global era un gigante protésico en cuyos pies de barro se acumulaba una mezcla de minerales, basura y química.

En otros proyectos, como el titulado "Pulverizaciones" (1966), el artista había cuestionado la importancia adquirida por la tecnología en los procesos creativos posteriores a la Segunda Guerra Mundial. En contraposición, a Smithson le interesaba identificar el arte con el modo en que "la ruptura o la fragmentación de la materia nos hace conscientes de los sustratos de la Tierra antes de que sean refinados por la industria" (Smithson, 2019: 122). Haciendo suyos los planteamientos de Georgescu-Roegen, para quien la entropía afectaba por igual al mundo orgánico y al inorgánico, Smithson describía los procesos de desintegración mineral (la oxidación, la hidratación, la carbonización y la disolución) como "cuatro métodos" fundamentales para la producción artística (Smithson, 2019: 121-122).

Los diagnósticos de Smithson resultaban en ese sentido visionarios en relación a una tendencia histórica que la cultura digital solo ha llevado al extremo. Pero también parecieran haber alertado al urbanismo neoliberal ante la necesidad de tapar cualquier agujero

por el que se pueda colar la percepción entrópica del tiempo. La cementización de nuestras ciudades ha cumplido los sueños expansivos del minimalismo hasta un punto insospechado por el propio Smithson. Ha trasladado el tiempo congelado de sus formas desde la galería de arte a las plazas públicas del centro de las ciudades. Como ha señalado recientemente Eugenio Castro, muchas de ellas semejan una inmensa lápida mortuoria (Castro, 2021). La geografía urbana hurta los síntomas del colapso de la civilización industrial en el momento mismo de su aceleración. El desierto smithsoniano adquiere la consistencia del hormigón armado. Los agujeros de Passaic han sido sustituidos por la sólida y compacta Nueva York.

A orillas del río Passaic

Y, sin embargo, la entropía prosigue su labor silenciosa. Smithson era muy consciente del modo en que los paisajes tecnológicos de la modernidad desarrollista perseguían negar la finitud, el "principio de la muerte" como elemento inspirador de la sensibilidad artística. Ante esa inercia, al artista le cabía la tarea de "explorar la mente pre- y poshistórica", dirigiéndose "a los sitios donde los futuros remotos se encuentran con los pasados remotos" (Smithson, 2009: 129). Esa mirada le permitió detectar la ruina anticipada de los paisajes norteamericanos. Un imperio percibido como ya declinante, incluso como potencialmente prehistórico, en el momento mismo de su apogeo. La Guerra Fría, sin la que tampoco es posible entender los escritos de Georgescu-Roegen, adquiría así una inercia térmica de más larga duración. Su entropía intersectaba, a la vez que excedía, la historia humana. La Guerra Fría venía del futuro.

El pediatra de Smithson había sido William Carlos Williams, quien escribió en Passaic uno de sus poemas más conocidos, Paterson (1946-1958), y dedicó a ese lugar el cuento "La vida a orillas del río Passaic" (1938), donde uno de los protagonistas era justamente un obstetra y puericultor. Al asomarnos al primer capítulo del relato, parece evidente que supuso un elemento inspirador para Smithson.

Es posible interpretar el paseo por los monumentos de Passaic como una geología abstracta de su propia biografía. En apenas unas páginas, Carlos Williams habla de “un chorro de agua que sale despedido de una tubería al nivel de los cimientos de la fábrica hacia la orilla fangosa del estrecho río”; de la presencia de “niños de antes del jardín de infancia”; de los efectos industriales contaminantes que llevaron a construir una cloaca en el río; o de “las fábricas todavía más interesadas en librarse de los desechos sin que les cueste que en mantener el río limpio”. Pero la narración también describe las tensiones y dramas sociales en torno a una comunidad obrera de extracción inmigrante o a los cadáveres decapitados que emergían en la superficie del Passaic (Williams, 2008: 135-144).

Estos últimos elementos anunciaban dinámicas históricas que otras producciones culturales han explorado más recientemente, y que de alguna manera dialogan con los imaginarios entrópicos de Smithson. El paisaje del río Passaic ha acompañado a productos culturales como la novela Pastoral americana (1997), de Philip Roth, o series de culto como Los Soprano (1999-2007). La novela de Roth narra el esplendor y declive de Newark, uno de los principales polos industriales de Nueva Jersey. El personaje principal del relato, el Sueco, hereda de su padre una floreciente y familiar fábrica peletera, cuyo sentido orgánico y paternalista se opone en el imaginario narrativo al capitalismo corporativo neoliberal. Los valores de la comunidad judía, con su exaltación del trabajo productivo bien hecho, y la paz perpetua de la cultura industrial norteamericana, se desmoronan de manera acelerada tras los conflictos sociopolíticos de los años sesenta y la posterior deslocalización neoliberal. La hija del Sueco, su adorada Merry, pasa de encarnar la inocencia cristalina de la infancia a convertirse de modo sucesivo en activista hippie contra la guerra de Vietnam, terrorista de un grupo de extrema izquierda y jainista fundamentalista. Cuando el Sueco consigue localizarla en la clandestinidad, Merry vive en una zona de chabolas de Newark, situada bajo los nudos infraestructurales. Su hipersensibilidad la lleva a permanecer momificada en vida, en un estado de parálisis permanente, con objeto de que su cuerpo no propicie la muerte de los microbios. Este pananimismo tal vez resulte inspirador para ciertas doctrinas ecologistas contemporáneas, pero representa ante

todo la parodia de un mundo en disolución.

Por su parte, Los Soprano actualiza la mirada vertida por Carlos Williams sobre los cadáveres flotantes del río Passaic. A modo de anécdota, varios de los asesinatos de la serie se desarrollan en las cascadas de Paterson, que habían inspirado previamente a Carlos Williams. Por lo demás, el Nueva Jersey de Los Soprano es una desublimación de la imagen del mafioso creada por Francis Ford Coppola en torno a la saga de El padrino. Tony Soprano, por comparación con Michael Corleone, es un mafioso bastante entrópico: habita un suburbio desindustrializado, producto del desarrollismo venido a menos; gestiona la basura, ese residuo civilizacional; y visita con frecuencia a una psicoanalista, que desvela el caos de su subconsciente. La serie muestra de manera magistral el sutil umbral entre la vida cotidiana y el crimen organizado, como si las externalidades negativas del capitalismo avanzado se hubieran infiltrado en una normalidad social con una transversalidad inquietante.

En varias ocasiones se ha señalado la importancia que los no-lugares y las infraestructuras más o menos obsoletas (aeropuertos, toda una maraña de autopistas, vías férreas y puentes metálicos) tienen en la construcción del paisaje narrativo de la serie. El entorno en que transcurren algunos pasajes podría haber llamado la atención de la Instamatic de Smithson. El artista norteamericano supo vislumbrar en las ruinas de Passaic los efectos de una entropía física, pero también sociocultural, que comenzaba a pulverizar la consistencia de los sistemas económicos y ambientales de la costa este. El avance del desierto invertía el sentido geográfico de la conquista como mito fundacional de la nación norteamericana, retornando desde el Oeste. Si por algo resultó visionario Smithson es por profetizar que la estética americana del último tercio del siglo XX y el primero del siglo XXI debía adquirir una tonalidad entrópica. En ese sentido, Smithson es a la historia del arte contemporáneo lo que Georgescu-Roegen a la de la economía convencional.

Cuando uno se acerca a series como Los Soprano o The Wire (2002-2008), parece como si el Passaic de Smithson, con sus non-sites y su memoria ruinosa de los futuros olvidados, se hubiera

extendiendo al conjunto del mundo occidental. Recordemos la sentencia de Frank Sobottka, el estibador y sindicalista de origen polaco que en The Wire encarna la muerte de la clase obrera: "Antes fabricábamos cosas [shits]". Podríamos interpretar estas series como el modo en que la entropía desvanece los mitos de la industria cultural para acercarlos a una sensibilidad popular desprendida de formas de vida diferenciadas. Cualquiera podría ser Tony Soprano o Jimmy MacNulty. Este tipo de series han dignificado artísticamente los productos culturales de serie B que tanto interesaron a Smithson. La cara B del desarrollo industrial (la entropía) y la cara B de las narrativas cinematográficas pasan a ocupar el primer plano. Pero también es cierto que parece haberse perdido el impulso utópico de las películas de serie B. Los Soprano o The Wire, pese a su finura e inteligencia, corren el riesgo de normalizar la entropía neoliberal, bloqueando la imaginación política proyectada hacia el futuro. Inducen un cierto efecto anestesiante, de reconciliación con lo existente. Al hacernos cargo de los diagnósticos bioeconómicos de Georgescu-Roegen, también debemos ser capaces de deshacer la clausura posmoderna de la imaginación política. Asumir la entropía del futuro ha de combatir su cancelación, allí donde los relojes sin arena de la infancia aún disparan contra el sepulcro de la historia.

PARTE III

CON GEORGESCU-ROEGEN Y MÁS ALLÁ DE ÉL: TERMOECONOMÍA

¡Es la entropía, estúpido! En homenaje a Nicholas Georgescu-Roegen

Antonio Valero y Alicia Valero

Introducción

Nicholas Georgescu-Roegen no conoció la exergía, e incluso hoy muchos economistas ecológicos la ignoran. Resulta complicado pensar en términos entrópicos incluso para un termodinámico. Hacer cálculos "económicos" con las unidades de la entropía, kWh/K (donde K es la temperatura absoluta medida en kelvin), no ayuda nada. La entropía difícilmente conecta con la sociedad. Decir que la entropía global está creciendo desaforadamente no es más que una forma pretenciosa de afirmar que estamos destruyendo los recursos geológicos y biológicos del planeta con ritmos de crecimiento exponencial. Mas para decir eso no hace falta la entropía como indicador: no aporta números inteligibles que permitan entender la velocidad de esa destrucción.

Por otra parte, el mensaje del segundo principio de la termodinámica es contundente: cualquier actividad que realicemos, sea constructiva o destructiva, incrementa la entropía del conjunto (entendido el conjunto como la unión del objeto de análisis y del entorno que lo rodea). Esta ley es universal y se cumple no solo a nivel planetario, sino en todo el universo. Ni los físicos teóricos del cosmos se atreven a contradecirla. La irreversibilidad es un hecho cotidiano: la flecha del tiempo solo va en una dirección. Hagamos lo que hagamos, siempre se degrada la energía de calidad. Lo que se rompe bien puede recomponerse, pero solo a costa de gastar más energía de calidad. Incluso si observamos la naturaleza, el ciclo

hidrológico se mueve gracias a la calidad energética del Sol, la corteza terrestre se abre con los volcanes cuya lava se enfría y solidifica, y la atmósfera se contamina con gases de efecto invernadero que antes eran componentes de recursos fósiles. Ni la lluvia cae hacia arriba, ni la atmósfera concentra y separa los gases de efecto invernadero, ni los depósitos minerales crecen una vez explotados. Esté el ser humano presente o no, el planeta y el universo se mueven espontáneamente en la dirección del aumento de entropía. De ahí su nombre, pues en griego “tropos” significa ‘dirección’. Dirección hacia el caos, que los seres humanos estamos acelerando.

La condición universal del segundo principio hace que se aplique también a todos los procesos económicos. Y así, una persona tan clarividente como Georgescu-Roegen planteó en 1971 su La ley de la entropía y el proceso económico. Un avance enorme pero insuficiente: se quedó en una condena a la economía por ignorar la entropía y sus ideas no pudieron modificar el alegre devenir de la economía actual, tan alejada del sentido de culpa y arrogante con su poder. Así que prácticamente todos los dirigentes, emprendedores y ciudadanos del mundo adoran y practican esta ignorancia. Se vive mejor sin conciencia de destruir la casa que nos acoge.

En este capítulo vamos a describir el trabajo realizado por nuestro equipo de investigación desde 1986, uno de cuyos antecedentes es la entrevista que realizó Antonio Valero al profesor Georgescu-Roegen en su casa cerca de Nashville en noviembre de 1991[81]. El otro, de Naredo y Valero (1999), el volumen colectivo Desarrollo económico y deterioro ecológico.

Empecemos, por tanto, con unos conceptos básicos: desde la entropía a la exergía, como punto de referencia y comienzo, para saltar a la termoeconomía y a sus aplicaciones de cara a evaluar el capital mineral de planeta, pasando por los mensajes que da la termodinámica aplicada al actual despilfarro de recursos naturales de nuestra sociedad.

Entropía y exergía

La economía debe tener en cuenta y en cuentas a la termodinámica, pero la entropía es un mal indicador. En 1971, cuando Georgescu-Roegen publicó su obra, los termodinámicos aún no habían asentado en sus libros de texto la exergía: ni siquiera había consenso en cuanto a su nombre. Fue en 1987 cuando llegamos a un consenso internacional con la palabra. Antes se utilizaban los nombres de “energía utilizable”, o “disponibilidad”, entre otras denominaciones.

La entropía (que designamos con la letra S) es una propiedad de la materia que depende esencialmente de la temperatura, la presión, la concentración o la composición. Puede calcularse si conocemos estas propiedades. Un rasgo de la entropía es su carácter logarítmico-exponencial. Si una sustancia se enfría espontáneamente hasta alcanzar la temperatura ambiental, es decir, si evoluciona desde T hasta T0, su variación de entropía toma la siguiente forma:

$\Delta S = KT \ln T/T0$, donde KT es un término multiplicativo asociado a la temperatura. Esta temperatura es absoluta, es decir T (kelvin) = t (ºC) + 273,16.

Si su presión disminuye desde P hasta P0, su variación de entropía es:

$\Delta S = -KP \ln Pf/Pi$, donde KP es un término multiplicativo asociado a la presión.

Y si la sustancia es un gas, líquido o sólido que se diluye en un sistema más amplio como la biosfera, su variación de entropía es:

$\Delta S = -KC \ln C/C0$, donde KC es un término multiplicativo asociado a la concentración.

Incluso si se oxida o se degrada químicamente en el proceso de interacción con el ambiente, la variación de entropía sigue tomando la misma forma. Nótese que al ser el logaritmo neperiano negativo en el caso de la presión y la concentración, la fórmula toma el signo menos para hacer la entropía positiva.

Estas fórmulas pueden generalizarse para cualquier proceso, pero aquí nos sirven para su fácil comprensión. Son expresiones del segundo principio de la termodinámica, que nos dice que en todo proceso la entropía crece: esta crece en el conjunto de los materiales cuando sube la temperatura, disminuye la presión o se diluyen en el ambiente.

En general, puede decirse que la suma de la variación de entropía de la(s) sustancia(s) y del ambiente siempre es positiva.

$$Sg = \Sigma\, \Delta Ssust + \Delta Samb > 0$$

Y Sg (la entropía del conjunto) solo sería nula si el proceso fuera absolutamente reversible, es decir, sin rozamientos ni transferencias espontáneas. El término Sg se denomina entropía generada en el proceso, y sus unidades son [Energía/Temperatura, kWh/K].

La inconveniencia de estas unidades se salva al interpretar el producto T0Sg. Tiene dimensiones de energía, por ejemplo kWh. E implica al entorno, aquí representado por su temperatura T0. Este factor es fundamental porque cuantifica la pérdida integral de calidad energética en el proceso de degradación ambiental de una sustancia. Es la energía que se ha disipado en el entorno irreversiblemente. Tanto es así que a este factor se le llama irreversibilidad del proceso y se mide en unidades energéticas, no entrópicas (esto constituye la ley de Gouy-Stodola o ley de pérdida de exergía).

A partir de aquí, ya podremos hablar de irreversibilidad como una magnitud cuantificable en kWh. Con ello hemos dado un salto conceptual enorme, porque no hace falta ser un especialista en termodinámica para comprender que estamos perdiendo capacidad de sacarle provecho a la energía de un material (todos sabemos cuánto cuesta la energía útil). Pero notemos que eso lo hemos hecho a costa de incluir al entorno. A partir de ahora, en nuestros análisis, el entorno será inseparable de nuestro objeto de estudio.

Si decimos que una pelota cae espontáneamente desde una altura dada, su energía no se pierde, sino que se disipa en el ambiente. Y caerá justo hasta el nivel del entorno que la rodea. Lo mismo ocurre cuando sacamos del horno un asado: al cabo de un tiempo se enfría. Su energía no se ha perdido, pero se ha disipado en el entorno que lo rodea. De la misma forma, si vertemos agua dulce en el mar, observaremos que dicho líquido, tan útil y costoso de producir, se degrada espontáneamente. O si un bosque se quema, la energía desatada se disipará en la atmósfera en forma de calor, CO2 y vapor de agua. La magnitud de la atmósfera es tan enorme que el calor y los gases se disipan y diluyen homogénea e irreversiblemente en ella, incrementando la entropía del entorno.

En muchos casos, ese proceso de disipación es espontáneo, pero no inmediato. Así, podemos ver que cualquier proceso real genera residuos, ya sea en forma de calor, sonido o materiales gaseosos, líquidos o sólidos. Todos ellos se disipan irreversiblemente en el entorno, que en nuestros estudios ecológicos podemos identificar como el planeta en su conjunto. Desde un punto de vista termodinámico, llamamos residuo a aquella sustancia no deseada que está en un proceso de degradación espontánea con el entorno que la rodea.

Estas ideas se resumen en el mensaje de que “el entorno actúa como un atractor”. De esta forma, si no somos eficientes con los procesos, la energía intercambiada se disipará irremediablemente en él.

Entonces, ¿qué es la exergía? Sencillamente: el máximo trabajo que puede realizar un material con respecto al entorno que la rodea. Esa máxima capacidad solo podría extraerse si dispusiéramos de una máquina perfecta, es decir, totalmente reversible. Por ello, la exergía también puede definirse como la mínima cantidad de trabajo que tendríamos que realizar para extraer un material del entorno. En términos termodinámicos es (B representa la exergía; H, la energía y S, la entropía):

$$B = \Delta H - T0\Delta S$$

siendo la energía del flujo que trabaja $\Delta H = H - H0$ y su entropía, $\Delta S = S - S0$ (donde el subíndice “0” se refiere a las propiedades del entorno).

Aunque la energía de un material pueda tomar diversas formas, su exergía siempre será su energía, ΔH, menos la que no es utilizable (representada por el término $T0\Delta S$).

Esta definición lleva implícita que el entorno tiene una energía utilizable nula. Es decir, se asume la hipótesis de que el entorno es inerte y que no puede extraer exergía de sí mismo (aunque sí todos sus componentes). Esto es, que para extraer materiales del entorno, habrá que gastar exergía de otra fuente. Por otra parte, cuanta más exergía tiene un objeto más distinguido es (en un sentido termodinámico). En otras palabras, la exergía mide la distinción (termodinámica) de un objeto respecto de su entorno. Atención: la “distinción” no es sinónimo del valor que damos a las cosas.

Comprender la exergía

Aunque parezca abstrusa la definición, al descender a los diversos tipos de energía, resulta fácil aprehenderla. En primer lugar, toda energía mecánica (cinética, potencial, trabajo de expansión o de compresión), eléctrica o magnética coincide con su exergía.

En segundo lugar, la exergía de los combustibles fósiles es aproximadamente igual a la de su poder calorífico superior. Es decir, igual a la energía que liberan si su combustión se completa hasta producir el gas carbónico y agua líquida a temperatura ambiente.

En tercer lugar, la exergía de cualquier sustancia química cuando realiza un proceso obedece a la fórmula general de la exergía, $B = \Delta H - T0\Delta S$, donde ΔH y ΔS están tabulados y disponibles. No puede darse una regla mnemotécnica, ya que la reactividad de las sustancias es muy variada. Lo que importa saber es que a mayor estabilidad, menor exergía química. Un caso paradigmático son los

metales nobles como el oro o el platino: curiosamente, su exergía es prácticamente cero. Sin embargo, estos son tan escasos que su extracción necesita una enorme cantidad de exergía. El oro o el platino constituyen ejemplos de que lo valioso para la sociedad no tiene por qué serlo en termodinámica. En cambio, el ácido sulfúrico tiene una alta exergía (¡por lo que hay que manejarlo con precaución!). Otra paradoja es que la exergía no dice nada sobre la nocividad o inocuidad de una sustancia.

En otras palabras, conocer el contenido exergético de los objetos no es suficiente para entender su valor en termoeconomía (luego introduciremos este concepto). Es necesario recurrir a sus costes de extracción y de deposición en el medio natural para relacionarlos con la economía, como veremos más adelante.

A mediados del siglo XIX, el ingeniero y físico escocés William John Macquorn Rankine denominó energética a la termodinámica. La palabra energética se utilizó luego como base (siempre muy contestada) de una teoría general del valor. Lo cierto es que la economía, que todo lo valora, no puede prescindir en este planeta del valor natural de las cosas que dicta la termodinámica.

En cuarto lugar, la exergía de un flujo de calor depende de su temperatura. Este es un caso muy interesante, a pesar de que requiere un análisis más complejo. Sabemos que el trabajo realizado por un objeto puede convertirse en calor, pero este no puede convertirse íntegramente en trabajo. Un flujo de calor solo tiene lugar si hay una diferencia de temperaturas. Ese flujo será tanto más convertible en trabajo mecánico cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas entre el foco caliente que lo emite y el estado al que llega.

Puede demostrarse que el máximo trabajo útil, B (exergía), que puede producir un flujo de calor, Q, entre su temperatura, T, y la de su entorno, T0, es:

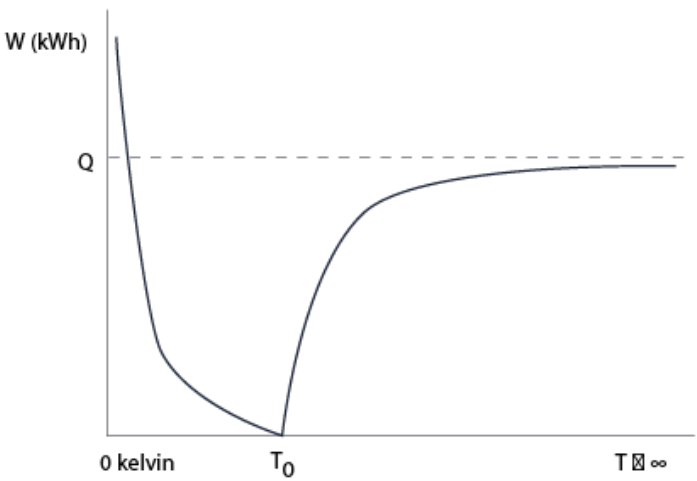
$$B = Q\,(1 - T0/T)$$

La representación gráfica de esta función (B frente a T) es muy ilustrativa.

Figura 1

Evolución de la exergía de un flujo de calor

en función de su temperatura



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que cuanto más alta sea la temperatura del flujo de calor, más puede convertirse en trabajo, hallando el límite en el infinito de temperatura. Ello significa que si nunca podemos convertir totalmente un flujo de calor en uno de trabajo, el infinito de temperatura será inalcanzable.

Por debajo de T0 es un tema incluso más interesante. Para enfriar una sustancia, extrayendo su contenido calorífico, debemos trabajar mucho: tanto más cuanto más baja sea la temperatura que deseemos alcanzar. El límite es el cero absoluto de temperatura (0 kelvin), en el que habría que realizar un trabajo infinito. Esta es una forma de

explicar el tercer principio de la termodinámica (la inalcanzabilidad del cero absoluto de temperatura).

Algunos ejemplos pueden aclarar este análisis. Un flujo calorífico de calor de 20 Wh (vatios por hora) a 200 ºC tiene una exergía con respecto al ambiente a 20 ºC de

$$BQ = 20\ Wh\ [1 - (20 + 273.16) / (200 + 273,16)] = 7,61\ Wh$$

Notablemente inferior a los 20 Wh de energía térmica que disponíamos.

Si el mismo flujo estuviera a 1.000 ºC, utilizando la misma fórmula, su exergía sería: BQ = 15,4 Wh, y si fuera energía eléctrica, su exergía sería exactamente BQ = 20 Wh. Por el contrario, si el flujo estuviera a 20 ºC, su exergía sería nula.

En cambio, si quisiéramos enfriar una sustancia desde 20 ºC hasta -20 ºC, extrayéndole 20 Wh de calor, deberíamos consumir, al menos, 3,16 Wh. Pero si quisiéramos enfriarlo hasta -200 ºC, el mínimo consumo eléctrico necesario serían 60,14 Wh. Lo inalcanzable del cero absoluto se observa cuando al enfriar a -273 ºC (es decir a 0,16 kelvin) tendríamos un exorbitante consumo de al menos 36.625 Wh y para una ulterior disminución hasta -273,1 ºC (0,01 K) ¡se necesitaría un mínimo de 586.300 Wh! Nótese el carácter exponencial que tiene el segundo principio de la termodinámica.

Como los motores térmicos están muy alejados de la reversibilidad, ello significa que los valores reales son mucho menores cuando queremos extraer trabajo de una fuente térmica y, contrariamente, los consumos eléctricos son muchísimo mayores si lo que queremos es enfriar alguna sustancia.

Thanatia: un estado de referencia planetario para calcular la

exergía de los recursos minerales

La exergía es una propiedad cuantificable de la energía y de los materiales una vez que se define un estado realista de referencia. Para ello, debe elegirse un entorno que actúe como atractor de nuestro sistema. Como sabemos que un sistema material evoluciona espontáneamente si encuentra una diferencia de temperaturas, de presiones, de concentración o de composición con su entorno, es necesario definir una temperatura, presión, composición y concentración de todas las sustancias químicas que puedan interaccionar con el sistema cuya exergía queremos calcular.

Los ingenieros térmicos han desarrollado las aplicaciones de la exergía en plantas energéticas, mientras que los ingenieros químicos han calculado y aplicado sus análisis a procesos termoquímicos. Pero los esfuerzos en la dirección que proponía Georgescu-Roegen (su aplicación a la economía y más en detalle hacia su "cuarto principio de la termodinámica") no se han desarrollado lo suficiente. Incluso se ha criticado tal principio señalando que no sería más que una consecuencia del segundo, sin llegar a aprehender que, sea o no un principio, muestra algo de la máxima importancia: la economía circular no puede existir por la imposibilidad práctica de reciclar todos los materiales, y mejor habría que llamarla economía espiral. Después ahondaremos en esta idea.

La elección del entorno es pues relativa al problema que se quiere resolver. Si uno quiere ver cómo se aprovecha la energía en una planta de generación eléctrica, no necesita complejidades sobre materiales químicos que no intervienen en el proceso. Pero si se quiere evaluar la evolución de la composición y concentración de los minerales del planeta por la acción humana, se necesita una elección planetaria del entorno.

Por ello, propusimos un modelo hipotético de planeta Tierra degradado pero posible, Thanatia, como línea de base para los cálculos de exergía. Thanatia representaría un hipotético estado final de la actual trayectoria exponencial de degradación inducida por el ser humano: la corteza terrestre, la hidrosfera y la atmósfera

habrían alcanzado la máxima disipación de todos sus materiales (teniendo en cuenta las condiciones naturales de la Tierra, es decir, la actividad solar y el calor interno del planeta). Aunque este escenario es hipotético e indica un agotamiento final, pretendemos plantear un modelo de referencia consistente apoyado en el modelo crepuscular de la Tierra que es de hecho, la representación cuantitativa de Thanatia (Valero et al., 2011a y b; Naredo y Valero, 1999). Este modelo lo desarrolló Alicia Valero en su tesis doctoral en 2008, con la información geoquímica y geológica actual sobre la atmósfera, la hidrosfera y la corteza que describimos a continuación.

La atmósfera crepuscular se produciría una vez que se hubieran agotado todas las reservas de combustibles fósiles convencionales; se prevé que al ritmo actual se alcanzaría aproximadamente en el año 2200 con una inyección atmosférica de unas 2.000 gigatoneladas de carbono. De acuerdo con simulaciones ya publicadas, la atmósfera crepuscular tendría un contenido de dióxido de carbono de 683 ppm, una temperatura media de la superficie de 17 ºC (calentamiento máximo inducido por el dióxido de carbono de 3,7 ºC por encima de las temperaturas preindustriales), una presión de 1,021 bar y una composición, en volumen, de 78,8% de N2, 20,92% de O2, 0,93% de Ar y 0,0015% de gases traza (nótese que aunque la atmosfera estuviera colmada de CO2 de origen antropogénico, “solo” sería un 0,07%).

El agua salina representa aproximadamente el 97,5% de toda la hidrosfera; el otro 2,5% se mantiene como agua dulce en los glaciares y los casquetes polares, las aguas subterráneas, los lagos, los ríos, el suelo y la humedad de la atmósfera y la biosfera. Solo el 0,3% de la cantidad total de agua dulce se concentra en lagos, embalses y sistemas fluviales, aunque es la parte de la hidrosfera que todos necesitamos para vivir y corre mayor riesgo de ser contaminada. Además, como consecuencia del cambio climático, una parte importante de los glaciares y el resto de hielos de la criosfera se están licuando. Por ello, suponemos que la hidrosfera crepuscular tendría la composición química actual de los océanos a una temperatura media de unos 17 ºC. Es decir, implícitamente se asume que todas las capas de hielo se habrán fundido y diluido en aguas salinas.

Con respecto a la corteza terrestre crepuscular, según el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2007) la masa de recursos minerales industriales no combustibles a nivel mundial es del orden de 10^{15} kg. Si se considera el resto de los minerales, la cantidad total de minerales concentrados aumenta en uno o dos órdenes de magnitud, hasta unos 10^{17} kg. Mientras tanto, la cantidad de posibles combustibles fósiles convencionales y no convencionales disponibles es de unos 10^{16} kg según el Consejo Mundial de la Energía (WEC, 2010). Esto significa que todos los recursos minerales concentrados de origen combustible y no combustible representan solo el 0,001% de la masa total de la corteza continental superior de la Tierra (unos 10^{22} kg, según Yoder, 1995). Por lo tanto, podemos afirmar, sin ningún error significativo, que la corteza continental crepuscular puede aproximarse a la composición mineralógica media de la corteza superior de la Tierra actual.

El problema que se nos planteaba era identificar qué tipo y qué cantidad de minerales significativos y distintos (en sentido termodinámico) hay en la corteza continental superior. Para ello, propusimos un modelo basado en la composición mineralógica estudiada por Grigor'ev (2000) (investigador del Instituto de Minería de los Urales en Yekaterinburgo, Rusia), pero con la mejora de asegurar una coherencia química entre especies y elementos. La corteza resultante estaría compuesta por los 292 minerales más comunes (al menos).

En definitiva, la situación actual de la biosfera está increíblemente cerca de Thanatia. En nuestro estado de referencia hipotético, la atmósfera habría llegado al estado previsto por los modelos de cambio climático a largo plazo. Aunque se duplicara la cantidad de CO2, habría menos dióxido de carbono que argón y este gas noble se considera como elemento traza. En la corteza terrestre, aunque se multiplicaran por diez todos los depósitos minerales, la corteza no contendría más que un 0,01% de ellos (valor inferior al error de estimación de la masa de la corteza). Así que, si desaparecieran todos los depósitos minerales comercialmente explotables, la composición de la corteza sería prácticamente la misma. En consonancia, la dispersión y degradación de todos los materiales ya utilizados no significa nada en comparación con la cantidad de rocas desnudas (sobre todo silicatos) que se encuentran

mayoritariamente en la corteza.

En cuanto a la hidrosfera, la contaminación de todas las aguas dulces y la fusión de los hielos del Ártico y la Antártida sí que tendrían un efecto cuantitativo mayor, pero no superior al 2,5% del total de las aguas del planeta azul. El ciclo hidrológico movido por la radiación solar seguiría existiendo, pero hay que tener en cuenta que el agua en la atmósfera es apenas el 0,00093% del agua total mientras que los ríos suponen el 0,00015% de toda el agua del planeta[82]. Es de notar que solo el 0,3% de la cantidad total de agua dulce se concentra en lagos, embalses y sistemas fluviales, y es esa cantidad la que nos preocupa cuando hablamos del "oro azul" del planeta. Por ello, mantenemos que la hidrosfera de Thanatia estaría compuesta casi en su totalidad por agua salada estándar[83].

No obstante, ni la Tierra actual ni Thanatia se encuentran en estado de equilibrio, sino en un estado de evolución lenta (medida en tiempos geológicos) que puede caracterizarse por un conjunto razonablemente corto de parámetros fisicoquímicos. Así, se puede imaginar, sin demasiada dificultad, un planeta Tierra "económicamente colapsado" como posible final del periodo del Antropoceno (Crutzen y Stoermer, 2000). En el hipotético escenario de un "estado muerto", todos los minerales concentrados se habrían extraído y dispersado por la corteza y todos los combustibles fósiles se habrían quemado, lo que provocaría un aumento de la concentración atmosférica de CO2 y de la temperatura media global debido al efecto invernadero, como ya se indicó.

Figura 2

Evolución del planeta Tierra hasta su completo agotamiento

de depósitos minerales. Desde Gaia a Thanatia

Fuente: Valero y Valero (2014).

Thanatia y la vida en la Tierra

El nombre Thanatia procede del griego “θάνατος”, es decir, muerte. Con él nombramos el posible estado de la Tierra cuando todos los recursos abióticos comercialmente explotables se hubieran consumido y dispersado (en un proceso dictado por el segundo principio de la termodinámica). Implica el fin de los depósitos minerales como extrapolación de la tendencia actual de declive minero-comercial[84].

No obstante, el estado de Thanatia no implica el fin de la vida en la Tierra, aunque probablemente sí cambios muy importantes en la biosfera. Esta, de una manera u otra, seguiría sobreviviendo.

Thanatia constituye una línea de base coherente para evaluar la pérdida de dotación mineral en la Tierra y la velocidad de su agotamiento. Tomando este modelo como punto de referencia, cualquier material que pueda ser caracterizado con unos parámetros fisicoquímicos análogos a los de Thanatia (concentración, composición, temperatura y presión) puede ser evaluado en kWh como una separación exergética de ella. Esto permitirá calcular la exergía de cualquier recurso mineral. Así, los recursos abióticos, que antes se consideraban finitos pero incontables, se convierten, al menos teóricamente, en finitos y contables (no en valor absoluto, sino en términos de velocidad de agotamiento). Su valor es la medida de su distancia termodinámica respecto del agotamiento de los depósitos minerales.

Como ya indicamos antes, salta a la vista que la Tierra actual está extraordinariamente cerca de Thanatia. Aunque las agencias de supervisión minera tales como el USGS o los economistas especializados en recursos mineros nos digan que hay suficientes minerales inexplorados, siempre se refieren a un relativo corto plazo (como si hubiera recursos suficientes para unas cuantas generaciones y a partir de ahí ya no sería su responsabilidad). Sin embargo, geólogos, climatólogos o hidrólogos nos avisan de la enorme velocidad de degradación actual de todos los recursos abióticos. Adicionalmente, las contabilidades al uso nunca discriminan la dificultad creciente de extracción (pues la extracción está sometida a la ley de rendimientos decrecientes y, por ello, no pueden sumarse reservas probadas con recursos inferidos, posibles o

hipotéticos).

La teoría Thanatia interpreta que la humanidad convierte la exergía química almacenada de la Tierra en un entorno degradado donde podrán apoyarse cada vez menos las actividades económicas, tal y como se entienden en la actualidad, y que finalmente no podrá sustentar la vida del modo en que ahora la conocemos[85]. En suma, el concepto de exergía puede utilizarse perfectamente como indicador físico para evaluar la pérdida de recursos abióticos mundiales. Para ello, se necesita un estado de referencia "muerto" (Thanatia) que cabe imaginar como un mundo sin recursos abióticos concentrados. La teoría, así descrita, permitirá evaluar en términos exergéticos (kWh) las pérdidas materiales a lo largo de la vida de los minerales: desde la extracción, el beneficio, la fundición, el refinado, el acopio, la fabricación, el almacenamiento, el uso, el reciclaje y el vertido hasta su dispersión final. Y, con ello, predecir el caos económico y energético (que no geológico). Es decir, colapsos civilizatorios.

La U exergética. El comportamiento

exponencial de la entropía

Nuestra sociedad no acaba de comprender los comportamientos exponenciales. La extracción de minerales en el planeta crece a un ritmo tal que, si seguimos así, antes del año 2050 estaremos consumiendo más del doble de lo que hoy se extrae; en definitiva, desde el momento presente hasta el año 2050 habremos extraído más minerales que en toda la historia de la civilización humana. La agricultura es fuertemente dependiente de las minas de fosfato. Un teléfono móvil requiere más de 35 elementos químicos, un vehículo convencional o eléctrico necesita más de 50 y las energías renovables, junto con el almacenamiento electroquímico y la producción de hidrógeno verde, necesitan ingentes cantidades de metales raros. Y se llaman raros porque son geológicamente escasos en el planeta Tierra. Por ello, es necesario revisar el mensaje de la

entropía: su carácter exponencial nos ayudará a entender y valorar aquellos comportamientos. No obstante, pese a las advertencias de Georgescu-Roegen, la economía actual no ha aprendido ni acerca de la entropía ni de los límites planetarios.

Empecemos con un ejemplo fácil de entender. Supongamos una mezcla de azúcar y sal. Lo primero que observamos es que al mezclarlos no se desprende energía. Ahora bien, si pretendemos separar estas dos sustancias, nos daremos cuenta de que es casi imposible: se necesitaría un trabajo inmenso para conseguirlo (lo cual haría económicamente inviable tal separación). Sin embargo, la termodinámica nos dice que necesitaríamos emplear ¡la misma energía! que se desprende cuando se mezclan el azúcar y la sal que para separarlas. Es evidente que la "realidad" no funciona así: ¿qué sucede aquí? ¿Y si empleamos tecnología bacteriana? Si dejamos que unas bacterias se coman el azúcar, veremos que ellas apenas emplean esfuerzo para hacerlo (obviamente mucho menos que la energía que les da el azúcar, pero no más). Lo que tenemos que concluir es que nuestras tecnologías son verdaderamente ineficientes y están muy lejos del límite que marca la termodinámica. Los procesos reales son irreversibles y nuestras tecnologías se hallan muy lejos (mucho más que las bacterias) de la reversibilidad.

Dicho esto, podemos entrar a analizar termodinámicamente el fenómeno de las mezclas tanto de sólidos como de líquidos o de gases. Como ya sabemos qué es la exergía, también sabemos que su balance nos da la irreversibilidad de los procesos. Esta irreversibilidad para el caso que nos ocupa toma la siguiente forma:

$$I = -RT_0 \sum_{i=1}^{n} x_i \ln x_i$$

Donde R es la constante de los gases, 23,1 x 10-7 kWh/mol K (o

también R = 8,314 julios/mol K), T0, es la temperatura ambiental en kelvin (T0 = 273,16 + temperatura en ºC) y xi son las concentraciones de la sal y del azúcar expresadas en tanto por uno molar, es decir que xS + xA = 1, siendo n = 2 las sustancias que se mezclan. Nótese que I es siempre positiva, porque xi es siempre menor que la unidad.

Esta ecuación se convierte, para este caso, en

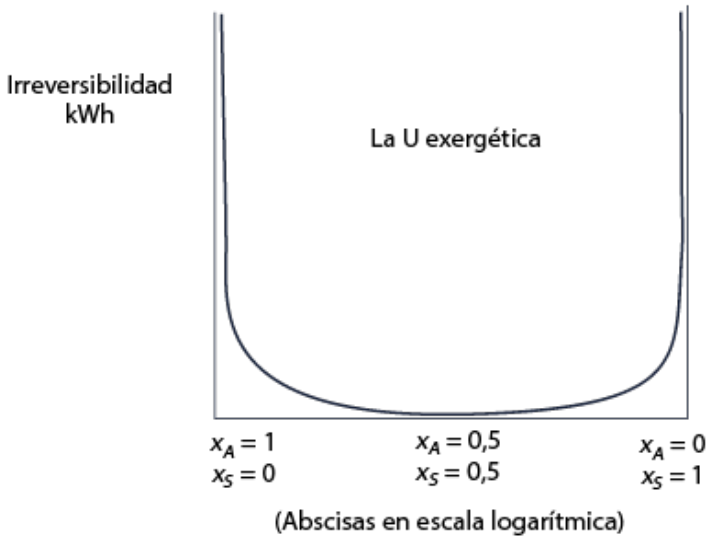
$$I = -R\ T0\ (xA\ ln\ xA + (1 - xA)\ ln\ (1 - xA)\ (kWh)$$

Gráficamente, esta ecuación es simétrica alrededor de x = 0,5, donde presenta un mínimo, y es asintótica con xi → 0, según aparece en la figura siguiente. Esto significa que la irreversibilidad aumenta exponencialmente al querer descontaminar el azúcar de la sal, o bien la sal del azúcar. La separación de las últimas partículas contaminantes requiere una energía exponencialmente creciente. En efecto, la derivada de la expresión anterior toma la siguiente forma:

$$dI/dxA = – R\ T0\ (ln\ xA - ln\ (1-xA))$$

Figura 3

Descripción de la U exergética. Separar una sustancia de una mezcla o refinarla muestra el mismo comportamiento entrópico



Fuente: Elaboración propia.

Este comportamiento resulta increíblemente importante desde un punto de vista práctico. En primer lugar, no es nuestra ignorancia tecnológica la que impone tal comportamiento, sino la física, que describe el caso ideal de separación. En efecto, descontaminar una mezcla de dos sustancias desde un 50/50% a un 49,1/50,9%, no requeriría casi esfuerzo, es decir, no habría casi irreversibilidad medible en kWh. Pero hacerla desde un 1/99% hasta un 0,1/99,9% requeriría muchísima más energía por unidad de masa separada. Sin embargo, esto no será casi nada si lo que se deseara fuera separar hasta un 0,01/99,99%. De esta forma, la energía requerida para la descontaminación (o alternativamente la purificación) crece exponencialmente con el grado de pureza/separación que queramos obtener.

En segundo lugar, la realidad tecnológica está profundamente alejada de la propia termodinámica. Es decir, separar los minerales de una mezcla requiere energía en una cantidad varios órdenes de magnitud mayor que el mínimo termodinámico. Los procesos de extracción y beneficiado de minerales tienen unos costes energéticos muy elevados y exponencialmente mayores con leyes

decrecientes del depósito mineral que se explota. Lamentablemente, la tecnología minera se desarrolla lentamente y se encuentra muy alejada del comportamiento ideal. Pero aquí no acaba el problema, los procesos metalúrgicos también están sometidos a la U exergética. Los costes energéticos de la reducción, purificación y refinado de los metales son, incluso, mucho mayores y siempre muy alejados de su mínimo termodinámico cuanto más queramos optimizar estos procesos.

Esta ley igual sirve para descontaminar nuestras emisiones que para purificar los productos industriales. El sentido común nos dice que paremos el proceso en algún momento, ya que la física impedirá obtener el absoluto 0/100%[86].

¿Qué es el coste exergético?

Georgescu-Roegen quiso insertar la entropía en la economía al uso y cambiarla radicalmente. Nosotros no perseguimos un objetivo tan ambicioso: solo queremos dar a la economía ecológica fundamentos físicos sobre los que construir una ciencia cuantitativa y objetiva en la medida de lo posible. La termodinámica es la economía de la naturaleza. No solo da límites de lo posible, sino que permite cuantificar en unidades físicas (por ejemplo en kWh, julios o cualquier otra medida energética) el cambio de condición física de la materia, sea viva o inanimada. Permite medir el coste físico de cualquier cambio. Pero el coste, en todas sus acepciones, es un concepto importado de la economía, de tal manera que muchos avances en economía ecológica podrán ser explicados y sobre todo cuantificados. De ahí la propuesta de la termoeconomía como puente conceptual entre una termodinámica basada en la exergía y la economía ecológica.

Antes de introducir la termoeconomía, es importante resaltar que ni el concepto de precio ni el de valor tienen nada que ver con ella. El precio de las cosas se forma en el intercambio oferta-demanda, pero no es esta cuestión nuestro objeto de estudio, sino la búsqueda del

proceso de formación del coste físico de los recursos naturales y sus variaciones. Por otra parte, el concepto de valor pertenece más a la psicología y la sociología que a la física. Así, por ejemplo, podemos preguntarnos: ¿cuál es el contenido en exergía de un cristal de Bohemia bellamente diseñado? ¿O el de una apreciada escultura de piedra? ¿O el del oro? La respuesta es: cero, en términos prácticos. Valoramos muchas cosas sin que la termodinámica lo haga. El valor puede estar o no relacionado con el contenido de exergía. Lo único que la física puede hacer es cuantificar el coste físico de los objetos, es decir, la cantidad de unidades de energía necesarias para producir un producto determinado: su energía incorporada.

El concepto de energía incorporada (embodied energy) surge en los años setenta del siglo XX, a partir de la gran preocupación social que generó la primera gran crisis energética mundial en 1973 y los años posteriores. En teoría esta magnitud mide la energía necesaria para producir cualquier objeto. El problema de la energía incorporada es su falta de rigor para asignar valores cuando se producen dos productos simultáneamente; también resulta problemático sumar energías de diferente calidad o no especificar claramente la desagregación de los procesos productivos y sus eficiencias. En muchos casos, al no disponer de una técnica universal de asignación de costes en procesos de cogeneración simultánea de productos, se recurre a sus precios de mercado, mezclando así los costes con los precios e invalidando el origen de su producción. En otros casos, el método empleado de asignación de costes se deja al arbitrio del analista. Como resultado, los datos de energía incorporada que normalmente se obtienen de los análisis de ciclo de vida son valores aproximados sometidos siempre a discusión.

Un concepto más preciso es el coste exergético propuesto por Valero et al. (1986) o (de forma independiente) el consumo acumulado de exergía propuesto por Szargut (1987). Se trata, de hecho, de los mismos conceptos que la energía incorporada, pero utilizando la exergía y unas reglas de cálculo matemáticamente estrictas y consensuadas por los analistas cuando aparecen discrepancias.

El coste exergético puede definirse como la cantidad de recursos necesarios para obtener un producto funcional. Por un lado, los

recursos tienen un significado general. Por otro lado, el coste está asociado a la finalidad de la producción. No está asociado ni al precio de mercado ni a los recursos que podrían ahorrarse si el proceso de producción fuera menos eficiente o más convencional.

El coste es una propiedad emergente, que no se encuentra en el propio producto. No puede medirse como una magnitud física (por ejemplo, la temperatura o la presión de un flujo), sino que depende de la estructura de su sistema productivo y aparece como resultado del análisis. Por lo tanto, necesita reglas precisas para calcularlo a partir de datos físicos. El coste energético unitario de una masa o flujo energético representa la cantidad de exergía necesaria para obtener una unidad de exergía del flujo de producto.

Se necesitan tres condiciones para asignar los costes. En primer lugar, la definición de los límites de análisis del sistema en estudio. En segundo lugar, describir la estructura desagregada del sistema en la que todos sus componentes o procesos interactúan entre sí a través de flujos de exergía. Y tercero, la definición de la finalidad de la producción de todos y cada uno de los componentes. Es decir, se deben identificar y clasificar todos los flujos interactuantes, bien como recursos, bien como productos o residuos internos con el objeto de identificar sus cadenas productivas.

En termoeconomía las palabras historia, degradación, exergía, calidad, coste, recurso, consumo, finalidad y causalidad están relacionadas entre sí. En el proceso de formación de costes, es esencial buscar analíticamente los lugares y los mecanismos físicos que conforman un determinado flujo productivo. Los recursos se consumen para dotar de cualidades fisicoquímicas a los productos intermedios hasta obtener un producto acabado. Gracias a la exergía homogeneizamos todos los flujos energéticos a términos equivalentes. En efecto, como hemos visto, el calor no se mide por su energía (pues cambia su calidad en función de su temperatura); igualmente, un gas como el CO2 puro es más valioso que el mismo diluido en el aire y, sin embargo, su energía es la misma[87].

Exergía, costes exergéticos y costes exergéticos

de reposición de los recursos minerales

Una vez postulada la hipótesis de Thanatia, la exergía puede utilizarse para evaluar los recursos naturales. Se abre una fascinante oportunidad de evaluar los recursos naturales del planeta con criterios estrictamente físicos[88]. Tenemos una herramienta cuyo desarrollo permitirá evaluar, como veremos, la pérdida de capital mineral del planeta (debido a la dispersión planetaria de los minerales después de su uso). El valor absoluto del capital mineral, aunque finito, es difícilmente calculable debido a la ignorancia que tenemos de la propia corteza planetaria. En efecto, pensemos que cuando los mismos geólogos separan reservas de recursos, lo hacen llamando reservas a los recursos probados (sean o no explotables desde un punto de vista económico). Mientras que el resto de recursos de un determinado elemento químico se clasifican en probables y posibles o hipotéticos sin ningún medio de corroboración experimental de su existencia[89]. A partir de aquí describimos la metodología de cálculo.

De forma intuitiva, una mina, una nube, un glaciar, un río o incluso los residuos de algún proceso productivo son recursos abióticos que se distinguen claramente de un planeta completamente exhausto. Estos recursos no son sistemas termodinámicos bien definidos, sino difusos. No están en equilibrio ni son homogéneos y sus propiedades son aproximadas. Dicho esto, sus propiedades intensivas pueden identificarse para el cálculo de la exergía de una mina. Se trata de la composición, la concentración (ley del mineral) y la cohesión, entre otras.

La exergía química da cuenta de la composición específica de un mineral. Este componente es muy relevante para los procesos metalúrgicos, ya que la energía necesaria para reducir químicamente y refinar un elemento determinado varía mucho en función del compuesto (por ejemplo, reducir un sulfuro es diferente de reducir un sulfato).

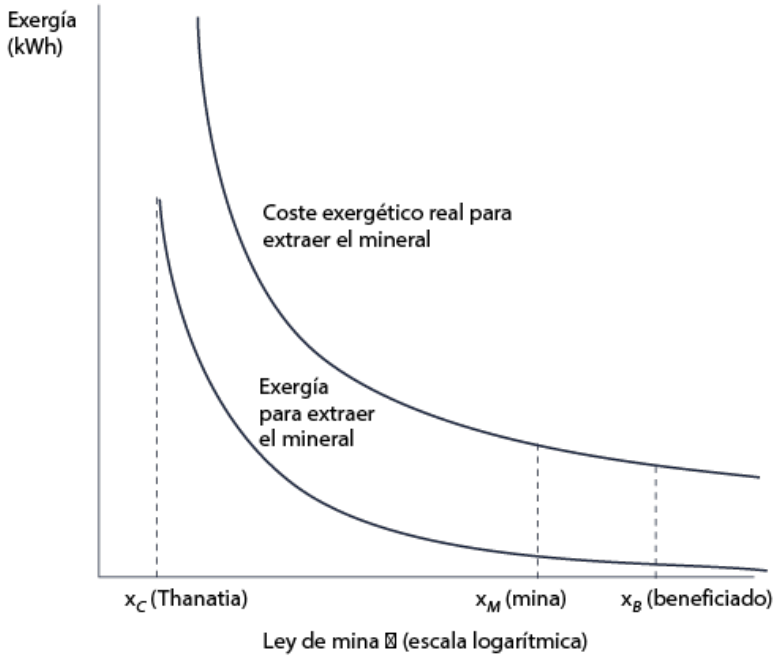
La exergía química de un mineral es la cantidad mínima de energía que la naturaleza habría tenido que gastar para llevarlo desde la concentración presente en el estado disperso de Thanatia hasta la

que se encuentra en una mina. Tiene tres componentes: la exergía de composición química, la de concentración y la de conminución. El primero se refiere a que un elemento químico puede presentarse en forma de óxido, silicato, sulfuro, carbonato o cualquier otra composición. Normalmente es el componente más importante y se calcula a través de la energía libre de Gibbs de la formación del mineral a partir de sus componentes elementales. En el caso de los metales nobles, como el oro o el platino, se presentan en la naturaleza en estado puro y por ello su exergía de composición es casi nula. El segundo componente se refiere a si el mineral está mezclado con otros o no. Este componente se evalúa con las formulas de la U exergética antes explicada. Lo que significa que la exergía necesaria para separar un mineral de su matriz rocosa aumenta a medida que disminuye su concentración[90]. El tercer componente se refiere a la mínima energía necesaria para triturar y moler la matriz rocosa hasta un tamaño dado de grano; depende de la dureza del mineral (y existen tablas y fórmulas que permiten su evaluación). El proceso de conminución también tiene un comportamiento exponencial: a menor tamaño de grano mayor es la energía necesaria para moler. En resumen, a medida que la ley del mineral y el tamaño de la partícula tienden a cero, la energía necesaria para extraer el mineral de su matriz rocosa tiende a infinito (figura 4).

Figura 4

Exergía y coste exergético para extraer el mineral de la mina,

en escala logarítmica con respecto a la ley de mina



Fuente: Valero y Valero (2015).

De este análisis se pueden obtener varias ideas: en primer lugar, es posible evaluar la exergía de un recurso natural abiótico, ya que se trata de una materia físicamente distinguible de un entorno de base determinado. En segundo lugar, la exergía de un recurso mineral es mayor cuando presenta mayores concentraciones, una composición favorable (los sulfuros son mejores que los óxidos o los silicatos) y una cohesión débil. En tercer lugar, la exergía puede utilizarse como medida de la rareza de los recursos minerales. En cuarto lugar, la extracción de minerales obedece a la ley de rendimientos decrecientes. Es decir, podemos extraer las primeras manzanas de un árbol sin apenas esfuerzo, pero una vez agotado ese primer nivel, necesitamos progresivamente más medios para recoger las siguientes; de la misma manera estamos induciendo el agotamiento de las mejores calidades de mineral, consumiéndolas en dirección a Thanatia. En quinto lugar, este agotamiento no es una cuestión de escasez geológica, dada la inmensidad de la corteza, sino del

esfuerzo creciente que se requiere para extraer leyes de mineral en continuo declive. En sexto lugar, mientras las concentraciones de mineral disminuyen lenta, pero progresivamente, el agotamiento es un proceso entrópico aún mayor. Lamentablemente, aunque la tecnología mejore, no será suficiente para procesar los millones de toneladas, siempre crecientes, que necesitará la minería por venir. Y, finalmente, los materiales una vez concentrados y utilizados se desechan en vertederos de todo el mundo y acaban dispersos en la corteza terrestre, en los océanos o en la atmósfera (como es el caso de los gases producidos por la quema de combustibles fósiles). Es decir, tarde o temprano, su tumba será Thanatia.

Estos procesos pueden describirse con un análisis exergético simple (tal como se describe en la U exergética antes vista). Este análisis es capaz de explicar estos fenómenos, pero los valores de exergía obtenidos resultan difíciles de interpretar. Son demasiado bajos si se comparan con la exergía de los combustibles fósiles y resultan insuficientes para una verdadera valoración social del problema del agotamiento de los recursos. La investigación tiene que recurrir al concepto adicional del coste exergético de un material medido en kWh, ya que ejemplifica mejor el gasto real de exergía en los procesos de extracción, beneficiado y refino del mineral, así como los de tratamiento y disposición de residuos. Esto implica una contabilidad precisa de los consumos de energía eléctrica, combustibles, agua y reactivos utilizados. A falta de análisis precisos, la energía incorporada puede utilizarse como un valor sustitutivo del coste exergético. No obstante, es común en la minería metálica encontrar otros metales acompañantes de la mena cuyo valor de mercado puede ser importante. Por ello, resulta necesario distribuir los costes en términos exergéticos, revisando así los valores de energía incorporada.

La relación entre el coste de la exergía y la exergía de un determinado material se denomina coste unitario de la exergía, que denominamos con la letra k. Está vinculado a la ley del mineral y a la mejora tecnológica. Resulta difícil extrapolar k al futuro debido a la imposibilidad práctica de predecir los cambios en los conocimientos científicos y tecnológicos. En cualquier caso, su valor es adimensional y puede ser incluso mayor que cien.

Otro problema del coste unitario de la exergía es que se trata de una función discreta, ya que la tecnología aplicada puede cambiar con los rangos de concentración de un yacimiento concreto. Además, cada técnica minera (ya sea subterránea o a cielo abierto) tiene un efecto particular en el consumo de energía debido a una serie de factores diferentes, como la ley del mineral, el tamaño de la molienda, la naturaleza, la profundidad y la ruta de procesamiento. Estos factores se han analizado para diferentes materias primas, como el cobre, el níquel, el aluminio y el hierro, mediante la evaluación del ciclo de vida (Norgate y Jahanshahi, 2010 y 2011; Norgate y Haque, 2010; véanse, además, los trabajos de Mudd, 2007 y 2010, y de Chapman y Roberts, 1983). Teniendo en cuenta las limitaciones anteriores y los datos energéticos disponibles para los procesos mineros (que suelen ser muy escasos), asumimos que se aplica la misma tecnología para todo el rango de concentración entre la ley del mineral xM en la mina y la ley de posbeneficiado, xR, que entre el estado disperso que se encuentra en Thanatia, xC y xM en la figura 4.

Teniendo en cuenta estos supuestos, definimos ahora un nuevo coste. El coste exergético de reposición (CER): es la exergía total necesaria para extraer y concentrar un yacimiento mineral desde el estado de Thanatia hasta la concentración actual del mineral en la mina, utilizando las mejores tecnologías vigentes. Estos valores no son absolutos y universales, a diferencia de los de la exergía, sino que evalúan lo que costaría reponer, empleando la tecnología actual, la riqueza mineral que la humanidad extrae, utiliza y finalmente dispersa. Es evidente que nunca vamos a reponer esa mina. El CER es, en realidad, una estimación concebible del coste natural oculto o evitado que la naturaleza nos proporciona al ofrecernos un determinado depósito mineral. Pues si tuviéramos que extraer de las rocas comunes algún mineral, tal como lo ha hecho la historia geológica del planeta, la energía a invertir sería enorme, incluso mayor que el CER. Por ello, llamamos recurso a aquel depósito mineral que tiene unas propiedades físicas favorables para su explotación minera alejada de la concentración de ese elemento en la roca desnuda, es decir, en Thanatia. Es un bono que el planeta nos da gratis, pero cada vez es menor conforme explotamos los yacimientos que se empobrecen en su mena. En una visión regenerativa de la ecología, la palabra reposición en un

mineral también se puede entender como la deuda que asumimos con el planeta cuando extraemos de él sus recursos no renovables.

La valoración de un mineral con el coste exergético de reposición equivale a un enfoque “de la tumba a la cuna” en contraposición al coste exergético de una mercancía, el cual, junto a la exergía asociada a su uso y disposición, constituyen el enfoque opuesto, “de la cuna a la tumba”.

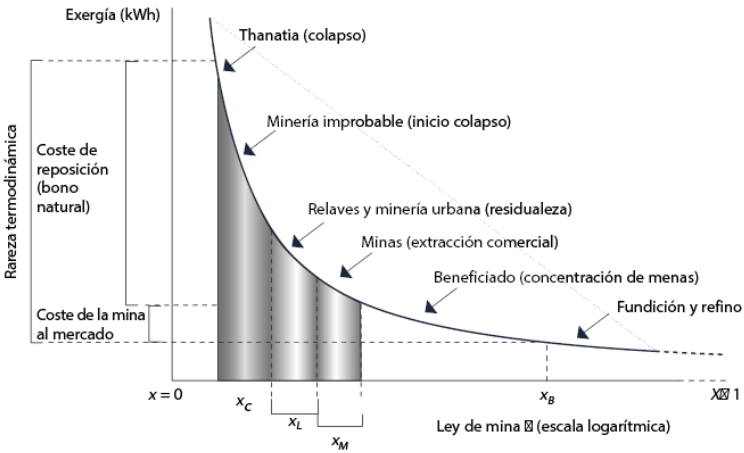
Rareza termodinámica

La idea del coste de reposición permite pasar al concepto de rareza termodinámica. En un diccionario podemos leer que la rareza se define como ‘algo que es valioso porque hay pocos de su clase’. La rareza se refiere, por tanto, a la dificultad de conseguir algo. En el caso de un yacimiento mineral, se asocia a la improbabilidad de encontrarlo y acceder a él. Una vez que se accede, también se relaciona con el esfuerzo de aislarlo de impurezas no deseadas, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y la disponibilidad de agua, energía y recursos en general para su suministro al mercado. La rareza prescribe, pues, el carácter de recurso natural a un determinado yacimiento. Todas estas características, desde una perspectiva termodinámica, tienen su origen en la entropía. A mayor rareza, más exergía y menor entropía (y mayor valor, con las cautelas que ya antes expresamos).

La rareza de los minerales, a su vez, requiere una definición. Cuando se piensa en la rareza en general, se tiende a expresarla en términos de cantidades no especificadas (es decir, se usa el binomio poco/mucho). Sin embargo, cuando se aplica a los minerales, con nuestra teoría podemos cuantificarla en unidades exergéticas. Así pues, la rareza de los minerales la definimos como la cantidad de recursos exergéticos necesarios para obtener un producto mineral a partir de la roca desnuda, utilizando la mejor tecnología vigente.

Figura 5

Rareza termodinámica



Fuente: Adaptado de Valero et al. (2021b).

La rareza termodinámica es el coste exergético (kWh) que se necesitaría para producir una mercancía mineral desde la roca desnuda hasta el mercado. Es decir, la exergía del bono natural (CER) desde Thanatia hasta la mina (coste imaginario) más la correspondiente a la exergía consumida desde la mina hasta el mercado (coste real) (Valero y Valero, 2015).

Si elegimos una vulgar roca desnuda (Thanatia) como base de referencia, la rareza termodinámica de los minerales se define, con mayor precisión, como la cantidad real de recursos exergéticos necesarios para obtener un producto mineral desde Thanatia hasta alcanzar sus especificaciones de mercado utilizando las mejores tecnologías vigentes. Por consiguiente, la rareza termodinámica de un mineral (o de una mercancía) equivale a su bono natural, es decir al coste exergético de reposición más sus costes exergéticos de extracción, beneficio y, eventualmente, de fundición y refinado. De esta forma, la rareza se convierte en una propiedad termodinámica

cuantificable medida en unidades energéticas, por ejemplo, kWh. Además, al ser aditiva, los costes indirectos de exergía relacionados con la disponibilidad de agua, el impacto medioambiental y el transporte desde la mina hasta el mercado podrán incorporarse a la definición. Hay que insistir aquí: el adjetivo exergético lo tendremos que evaluar (excepto en los casos de minerales acompañantes en los que hay que repartir costes) como la cantidad de combustible(s) empleado(s). Ello se debe a que la imprecisión de los datos (tanto industriales como de origen geológico) no permiten mayores exactitudes. Adicionalmente, al ser exergético no nos desviamos de la entropía, pues cualquier pérdida exergética se relaciona con la entropía generada a través de la ley de Gouy-Stodola, antes explicada.

¿De qué depende la rareza termodinámica?

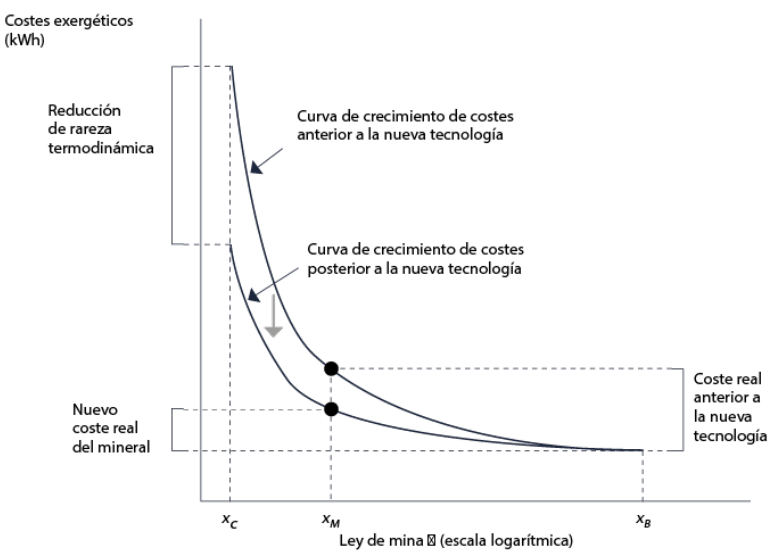
La rareza termodinámica y su comportamiento resultan cruciales para evaluar la pérdida gradual de capital mineral a la que estamos sometiendo al planeta. Es una nueva propiedad física que, aunque imprecisa o borrosa, es cuantificable y, sobre todo, tiene un enorme poder explicativo que no se da en la teoría economía convencional. Como Georgescu-Roegen nos enseñó, ¿dónde está la irreversibilidad en la teoría económica? Y lo que es más dramático: el proceso de destrucción planetaria no es lineal, sino entrópico, es decir, exponencial. Y ese carácter no está ligado a la demanda humana de pedir cada vez más, sino a la oferta planetaria de sus recursos. Sumamos linealmente recursos para quedarnos tranquilos, como si todos pudieran extraerse con el mismo trabajo en vez de asumir la realidad de que cada vez son más inasequibles, y así nos salen falsos mensajes de abundancia. Curiosamente, la ley de rendimientos decrecientes que nos sugiere la propia economía (desde David Ricardo y los primeros economistas) se cumple con los recursos de la Tierra. Parafraseando la consigna electoral de Bill Clinton en 1992, cabe decir: ¡es la entropía, estúpido!

En efecto, la rareza termodinámica varía de un mineral a otro en

función de su escasez absoluta en la naturaleza, del estado de desarrollo tecnológico y de la propia economía. En general, si la tecnología no cambia, la rareza termodinámica de un determinado mineral permanecerá constante, ya que depende de estados iniciales y finales fijados previamente (es decir, de Thanatia y de la calidad de la mercancía tras el beneficio, que suele imponerse por acuerdos comerciales). Dicho esto, a medida que se extraen los minerales, la calidad de los yacimientos disminuye y, por tanto, los costes de extracción y beneficio aumentan (figura 5). En otras palabras, en condiciones tecnológicas constantes, los costes imaginarios se convierten en reales. Si, por el contrario, aparecen mejoras tecnológicas, la rareza termodinámica disminuirá debido a la reducción de ambos costes, los ocultos y los reales (extracción y beneficio) (figura 6).

Figura 6

Influencia de una nueva tecnología minera sobre la rareza termodinámica



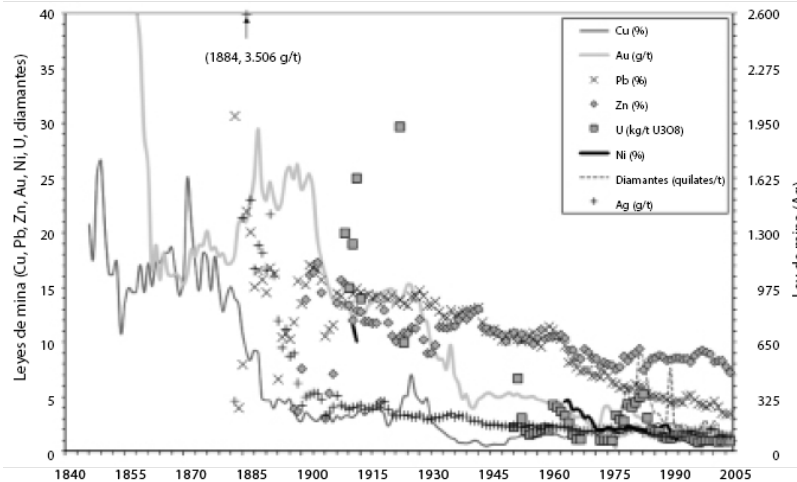
Fuente: Adaptado de Valero y Valero (2015).

Ahora se puede definir la rarefacción como una disminución inducida de la concentración de un determinado producto, lo que hace que su recuperación sea costosa. En la tecnosfera, la rarefacción aparece tanto al principio como al final de la vida útil del mineral. El final de vida se produce cuando un metal o mineral pierde su utilidad y pasa a ser residuo (quizá incinerado) tarde o temprano disperso en Thanatia; es decir, se "enrarece". Su pérdida irreversible se contabiliza por su coste de reposición de exergía desde la concentración del elemento en el producto desperdiciado hasta la concentración en el vertedero, xL, o si se dispersa en Thanatia, xC (figura 5). Cuando esto ocurre, el ser humano está convirtiendo irreversiblemente las sustancias altamente concentradas en residuos. El término residualeza (por analogía con el ya asentado basuraleza) se utiliza aquí para expresar todos los vertederos acumulados en el mundo que muestran un rango de concentración alrededor de xL.

En el proceso del principio de vida, cuando el mineral se extrae y se beneficia, lo que queda en la mina también se enrarece, dado que la concentración disminuye, acercándose gradualmente al límite de Thanatia. Este proceso es el conocido declive de las leyes minerales (Mudd, 2010). En efecto, Mudd estudió este declive para las minas de Australia en los últimos 150 años (figura 7).

Figura 7

Declive de las leyes de mina de minerales en Australia en 150 años



Fuente: Mudd (2010).

Muchos economistas niegan el declive de las leyes de mina alegando que el planeta está por explorar, pero una cosa es ver el comportamiento minero a corto-medio plazo y otra negar la geología física. Tarde o temprano las minas se irán agotando (y por otra parte nuestra sociedad es cada vez más reacia a abrir nuevas minas, lo que crea un desabastecimiento/encarecimiento equivalente a ese declive que se niega). La termodinámica no habla de plazos, pero sí de certezas sobre los fenómenos que siempre crean entropía. En cualquier caso, aquí analizamos el comportamiento físico de la(s) mina(s), y en ella(s), la cantidad de exergía necesaria para extraer la siguiente tonelada de mineral, que aumenta cada vez que disminuye su ley de mena. Por tanto, el proceso de rarefacción aparece dos veces, una en el principio y otra en el final de vida del elemento químico. En nuestra opinión, la sociedad debería conocer ambos procesos en términos cuantitativos (kWh).

Es evidente que las tecnologías siempre van mejorando, pero no compensan el aumento de los costes energéticos de extracción a lo largo del tiempo. Este fenómeno tiene su lógica, ya que la minería extractiva mueve, cada vez más, inmensas cantidades de áridos,

creciendo exponencialmente conforme a las leyes de mina decrecen y las tecnologías no aumentan su eficiencia tan rápidamente.

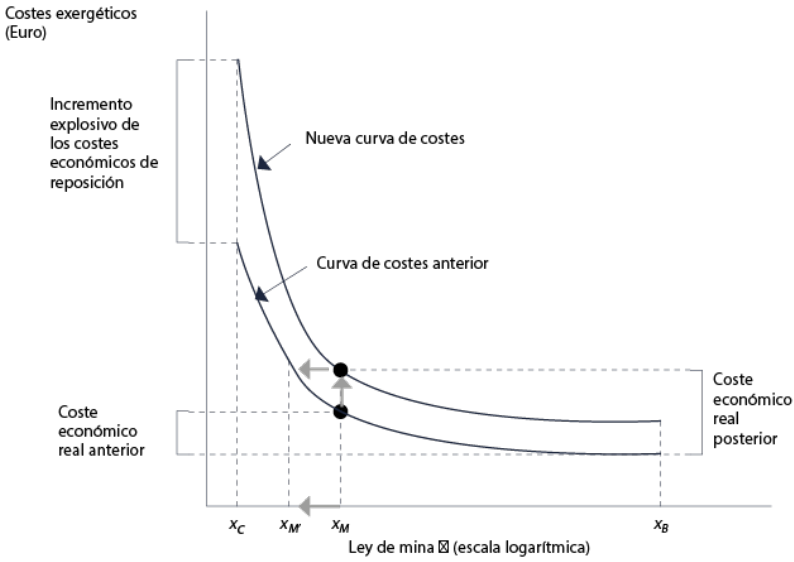
En este sentido, la minería actual utiliza masivamente las energías fósiles, electricidad, agua y reactivos químicos con alta exergía. Diversos estudios evalúan que la minería metálica actual es responsable ya de alrededor del 10% del consumo energético mundial[91].

Pero como la extracción de combustibles fósiles también está sujeta al comportamiento entrópico aquí descrito, la energía consumida por la minería no fósil aumentará su precio a la vez que su demanda. En otras palabras, las materias primas de origen minero van a sufrir en el futuro enormes subidas de precio. Y ello sin contar sus consumos de agua, reactivos y costes sociales asociados. Tampoco creemos que las energías renovables serán una solución si en el próximo futuro se descarboniza la minería. Estas energías son muy dependientes de materias primas con alta rareza, lo que conllevará tarde o temprano un aumento de los precios de la energía renovable.

La rareza termodinámica, medida en términos energéticos, está evidentemente relacionada con el consumo global de energía y el impacto en el medioambiente. El problema del agotamiento de los minerales se convierte así no en una ausencia de materiales, sino en un suministro insuficiente de energía. Por lo tanto, como no hay materiales sin energía e igualmente no hay energía sin materiales, el problema es doble (o incluso triple si se tienen en cuenta las consecuencias medioambientales asociadas a la extracción de minerales).

Figura 8

Anticipación del colapso debido al aumento de los precios de la energía



Fuente: Elaboración propia.

Este fenómeno se explica claramente en la figura 8. Un incremento de los precios de la energía (descontada la inflación) hace que la extracción alcance una nueva curva de costes más elevada. El efecto es doble. Por una parte, ese incremento de precios equivale a la situación en que estuviéramos extrayendo un mineral de menor ley. Es decir, pasamos de una ley xM a una menor ley xM'. Es como si nos acercáramos a Thanatia en la curva de costes anterior. Por otra parte, el segundo efecto es que el comportamiento exponencial de la curva de costes actúa como un amplificador de la rareza. En la figura 8 podemos observar que mientras el aumento del coste real puede ser asumible, el aumento del coste de reposición es explosivo. En otras palabras, anticipamos el colapso social.

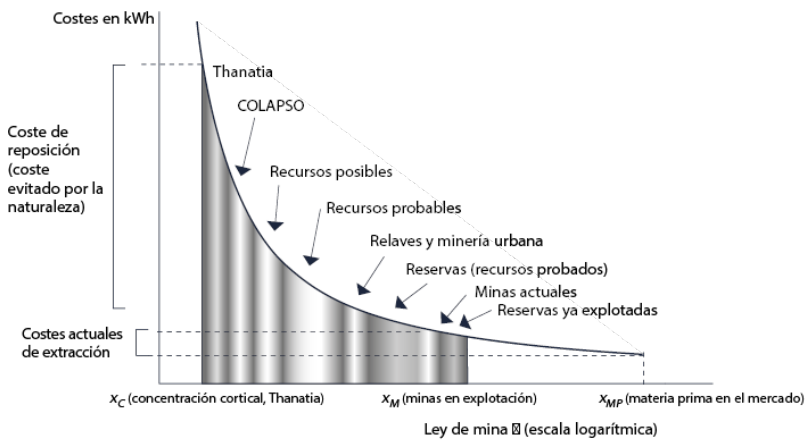
En resumen, la rareza no es una mera cuestión del tipo “sí o no”, sino un coste (kWh) que depende de la escasez del elemento en la corteza terrestre, del estado de la tecnología (incluidos los precios de la energía) y de la calidad deseada de la mercancía. Además, no se trata solo de la ley del mineral o de la escasez geológica, sino del coste monetario de la energía comercial. Tiene que ver con el

consumo global de energía y la sostenibilidad de los recursos planetarios, porque cuanto mayor es la rareza termodinámica, más difícil resulta obtener una determinada mercancía.

Figura 9

Sucesiva explotación de las reservas, recursos

hasta el posible límite del colapso



Fuente: Elaboración propia.

Se entiende ahora mejor la economía de la explotación minera. Esto se debe a que la rareza termodinámica puede unificar en un indicador continuo todos los siguientes conceptos que suelen encontrarse en los estudios geológicos que sirven para identificar los datos de recursos y reservas: probadas, probables y posibles, etc. Esto significa que todos estos conceptos se sitúan en un intervalo específico de concentración de mineral en la función de rareza termodinámica. La figura 9 describe ordenadamente los costes de extracción reales desde el elemento en el mercado actual a la minería dividida en tres fases. La primera, de las reservas tanto

explotadas como por explotar, así como las oportunidades de explotación de los relaves y la minería urbana favorecida por una decidida economía circular. La segunda fase es la de los recursos probables, que habrá que explotar si las reservas y el stock de minerales en uso no es suficiente. La tercera fase, correspondiente a los recursos posibles, se daría en condiciones de colapso social, pues los efectos de la minería desbordada sobre el medioambiente y la sociedad serían probablemente inasumibles.

¿Podemos evaluar el capital mineral del planeta Tierra?

La rareza termodinámica de cada elemento químico en una determinada composición y concentración tiene la ventaja de que depende de su composición geológica en la corteza terrestre: esta información es objetiva. Nuestros primeros valores de rareza se muestran en la tabla periódica de rarezas de la figura 10. Se ve claramente que aquellos elementos más escasos necesitan enormes cantidades de energía para llegar al mercado. Por ejemplo, si un gigajulio (GJ) equivale a 0,2778 megawatios-hora, y a un precio bajo del MWh de 200 €, una tonelada de cobalto de rareza 10881 GJ/t costaría 604.548,36 €/t, mientras que actualmente la tonelada cuesta unos 79.000 €, es decir 7,75 veces más. Y su diferencia sería su coste de reposición: 526.500 €, una estimación de la deuda generacional.

Sin embargo, estos datos se basaron en los trabajos de Chapman y Roberts (1983), y de Cox y Singer (1987) en los que consideraban que la energía de extracción minera variaba con el inverso de la ley de mina. Esta suposición permitió ajustar mejor la función a partir de datos empíricos de costes de extracción reales en función de la ley de mina para el cobalto, cobre, oro, níquel y uranio. Y de aquí obtener los valores de rareza preliminares de la figura 10.

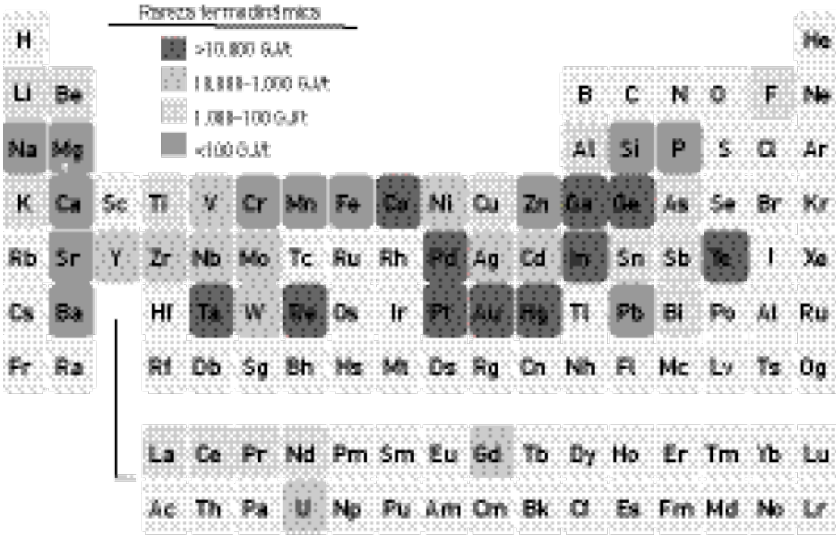
No obstante, la hipótesis de explicar todos los comportamientos iguales para todos los elementos químicos y su composición mineral era demasiado grosera. Por ello, decidimos utilizar la simulación de

los procesos mineros mediante el programa HSC-Outotec (2018), que se utiliza comercialmente para diseñar las operaciones minero-metalúrgicas de cualquier depósito desde la mina hasta la materia prima comercial. El programa permite evaluar unos costes realistas de extracción, de tal manera que si empezábamos desde la concentración del elemento en Thanatia podríamos obtener un valor más aproximado y riguroso que los obtenidos anteriormente.

Figura 10

Tabla periódica preliminar de rarezas termodinámicas

en base cortical



Fuente: Valero, Valero y Calvo (2021b).

El trabajo de nuestro colaborador José Luis Palacios (2020), en su tesis de doctorado, calculó con el programa HSC el coste de

reposición con la tecnología vigente para el cobre, hierro y oro. Por ejemplo, simuló el proceso de extracción de oro en Thanatia con una concentración de un 0,00143 g de oro por tonelada de árido, hasta la composición actual de las minas de oro que es aproximadamente 2,71 g por tonelada de árido y luego simuló su posterior proceso de refinado. El resultado fue que se necesitarían 6,17 E + 7 GJ/t Au, en vez de los 6,6 E + 5 GJ/t Au: ¡casi cien veces mayor que nuestros cálculos previos! Para el caso del cobre, obtuvo que es 22,5 veces mayor y, sin embargo, para el hierro es del mismo orden de magnitud, en particular 3,2 veces menor. Ello implica que en aquellos elementos más raros los errores en rareza termodinámica, que aparecen en la figura 10, son los más elevados. Esto se debe al carácter exponencial de la energía necesaria para extraerlos de las rocas comunes.

Estos resultados indican la necesidad de utilizar los datos de simulación para todos los elementos, tarea que en estos momentos estamos llevando a cabo. Pero lo más importante es que nos hizo reflexionar con mayor profundidad sobre la evaluación del capital mineral, o riqueza, del planeta. Evidentemente, si se dispusiera de datos acerca de la cantidad de minerales de cada clase que hay en la corteza, se podría dar un valor en toneladas. Pero eso es hoy técnicamente imposible y quizás nunca se sabrá, al menos con precisión. Podemos decir de ese dato es inconmensurable pero finito.

Lo que sí podemos evaluar es la pérdida de riqueza mineral en un determinado período de tiempo, pues hoy existen estadísticas de extracción minera, aunque los datos no son suficientemente fiables ni están estandarizados. Por ejemplo, habría que disponer de la composición y concentración de todas y cada una de las menas extraídas en ese período de tiempo. A pesar de la falta fidedigna de información, es un dato mensurable y hoy se dispone de resultados aproximados de toneladas extraídas por países, especialmente para los metales. Por ello, nos centraremos en los metales a partir de ahora.

No tiene sentido hacer un indicador aditivo que sume toneladas de hierro o de aluminio con kilogramos de indio, tierras raras o platino. Y menos aún sumar megatoneladas de arena o de roca

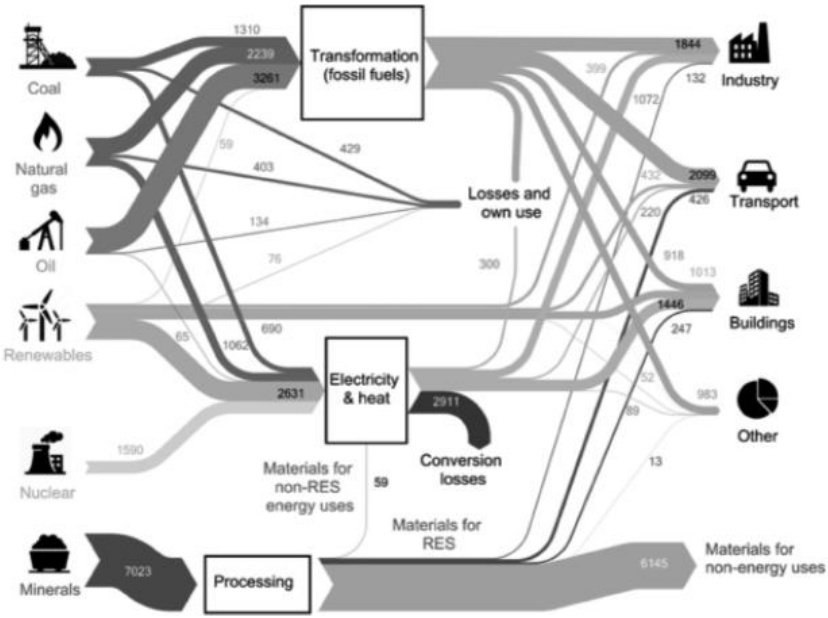
caliza. La solución estriba en discriminar por rareza termodinámica, pues esta se mide en kWh y da más valor a aquel mineral más raro (y por tanto a aquel que antes se agotaría si seguimos depredando el planeta a la velocidad actual). Este nuevo indicador es aditivo y con mayor precisión podríamos llamarlo pérdida (regular) de rareza del capital metálico del planeta (PRCM).

La figura 11 corresponde al balance de energía primaria mundial y de sus usos que la Agencia Internacional de la Energía prevé para 2040. Nosotros hemos añadido un nuevo flujo, el de materias primas asociadas a esas extracciones energéticas. El flujo de energía correspondiente a los minerales (en la parte inferior de la figura) responde solo al coste de reposición de los minerales necesarios para sostener la economía renovable (no incluye la digital) que se anuncia: 7.023 millones de toneladas equivalentes de petróleo. Si sumáramos a ese valor la energía realmente consumida en la minería metálica (10% del consumo mundial) se obtendría la PRCM supuesta para el año 2040. Nótese en la figura que dicho flujo es mayor que cualquier otro, tanto de combustibles fósiles como de renovables o de nuclear. En comparación con el año 2020, se rebajaría el consumo de energía primaria desde 11.856 Mtoe hasta 8.950 Mtoe, pero el CER del capital mineral empleado aumentaría un 16%, llegando a 7.023 Mtoe. Nótese también que la parte real de consumo de energía en la minería ya está contabilizada: por tanto, esta medida corresponde solo a la parte imaginaria de la rareza global, es decir, el aumento de la pérdida de coste exergético de reposición global o pérdida de capital mineral del planeta en ese año.

Figura 11

Análisis del flujo exergético del mundo para 2040 (a partir de datos

de la IEA 450 escenario 2040)



Fuente: Valero, Valero y Calvo (2021b).

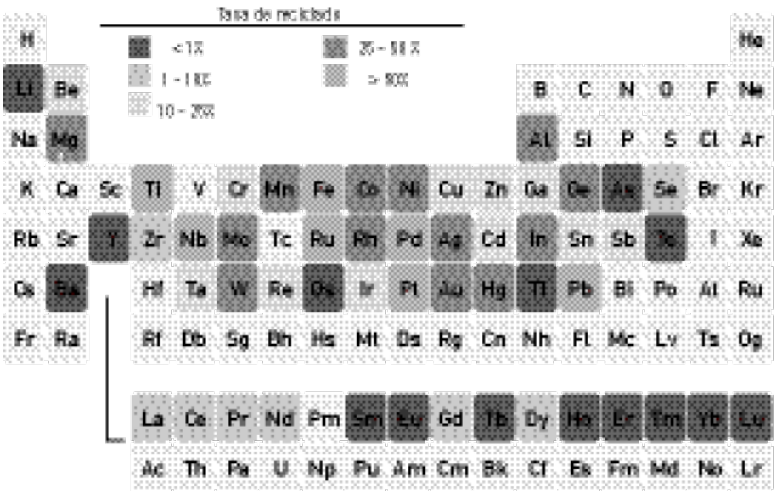
No obstante, a este indicador habría que restarle la recuperación de materiales que se obtendría con el desarrollo de la economía circular (o más bien espiral, luego insistiremos sobre ello) que hoy, para casi todos los metales, es muy escasa (excepto para metales nobles como oro o platino, así como acero, aluminio, cobre y plomo). Graedel et al. (2011) hicieron un estudio para la Agencia para la Protección Ambiental de Naciones Unidas que muestra las estadísticas de recuperación industrial de metales (figura 12). El mensaje más notable es que los metales más raros son los que habitualmente menos se recuperan. Es decir, estos residuos metálicos o van a vertederos o a zonas contaminadas e incontroladas (residualeza), o directamente a Thanatia.

Pero el indicador de rareza termodinámica tiene su talón de Aquiles en la imprecisión de sus valores para los elementos más raros, como ya hemos visto. Esa imprecisión se transmite a la evaluación del PRCM. Además, hay otra objeción teórica: si los metales vuelven a

Thanatia, ya que no salen del planeta, no podemos decir en rigor que se pierde la riqueza, sino más bien que se deslocaliza. En otras palabras, lo que se pierden son los depósitos minerales que tiene el planeta. Por otra parte, antes de tener que extraer un determinado metal de la roca común habríamos llegado al colapso civilizatorio (por la inmensa cantidad de energía que necesitaríamos). De aquí se colige que el concepto de rareza termodinámica hay que revisarlo sobre la base de los depósitos minerales existentes.

FIGURA 12

Porcentaje de reciclaje en 2011 de reciclado mundial de metales



Fuente: Graedel et al., 2011

En efecto, no podemos predecir el colapso, pero sí sabemos que si la demanda de metales crece y disponemos en el futuro de suficiente energía (por ejemplo, energía de fusión nuclear), podríamos llegar más allá de las reservas (recursos probados) y extraer los recursos probables; pero es muy dudoso que extrajéramos los recursos

posibles y, por tanto, acercar la minería comercial hasta Thanatia. De hecho, podemos aprender la lección del oro: es un elemento buscado ávidamente por la minería actual y se considera rentable extraerlo en concentraciones de 2,71 g/t árido, mientras que la concentración en Thanatia es unas dos mil veces menor, $1{,}34 \times 10^3$ g/t. Hemos visto anteriormente que la energía adicional que necesitaríamos sería de $6{,}17 \times 10^1$ GJ/t Au o bien 17.139 kWh/g Au, es decir, unas 210 veces más kWh que los actuales 81,3 kWh/g Au. Esto significa que, si el oro cuesta hoy 50 €/g aproximadamente, subiría al menos a 10.000 €/g (€ de 2022), lo que parece inasumible. A esos precios, antes explotaríamos toda la residualeza (en rigor sería más bien chatarraleza) con técnicas de economía circular o lo sustituiríamos por otros materiales que hicieran la misma función para declinar su demanda.

Lo lógico es pensar que por mucha demanda que exista de un determinado elemento, esa demanda tiene un límite que podría estar en la zona de recursos posibles, es decir, unos depósitos minerales unas cien veces mayores que la concentración de Thanatia. Esto significa para el oro su límite de extracción sería veinte veces menos que la concentración actual económicamente rentable, lo que multiplicaría su precio a valores prohibitivos, pero quizás aún posibles.

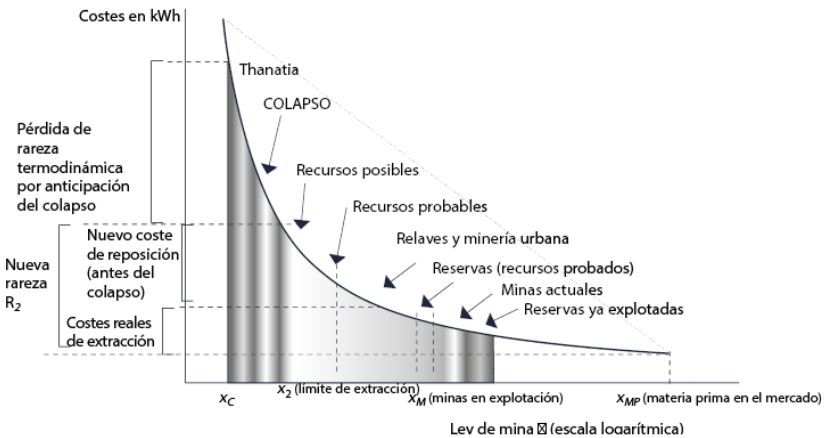
En otras palabras, podemos definir una rareza del último recurso, R2, asociada a la concentración del elemento en depósitos minerales posibles (hipotéticos) en vez de a la de Thanatia, RC. Así, el subíndice 2 corresponde a cien veces más concentrado que en Thanatia. En la figura 13 observamos las áreas que corresponden a parte de los recursos posibles, más los probables y los de minería urbana y, por supuesto, las de recursos probados y explotados, que sería el auténtico rango de capital mineral cuya pérdida habría que considerar. Aunque los valores de R2 son menores que la rareza cortical asociada a Thanatia, RC, aportan una mayor verosimilitud, porque un mineral en el rango de concentraciones ($x2 \rightarrow xC$) no puede categorizarse como disponible comercialmente, que estaría en el rango ($xM \rightarrow x2$).

Estas son las bases teóricas que actualmente estamos desarrollando para evaluar la pérdida de capital mineral del planeta por la actual

depredación de sus recursos mineros, lo que conllevará una nueva tabla de rarezas de último recurso, R2, para todos los elementos obtenida por técnicas de simulación de sus procesos extractivos.

FIGURA 13

Propuesta de un índice de rareza asociado al último recurso antes del colapso



Fuente: Elaboración propia.

Hacia un indicador de huella material

Evaluar la PRCM (pérdida de rareza del capital metálico del planeta) permitirá ver la evolución del estado mineral del planeta y clamar en contra del despilfarro de los recursos planetarios en términos cuantitativos y de forma regular. Pero la cuestión ahora es: ¿resulta posible crear un indicador de huella material? La utilización de aparatos eléctricos y electrónicos, las energías renovables, los equipos de movilidad eléctrica, el transporte aéreo, el uso de fertilizantes, la construcción, la maquinaria y muchas más aplicaciones en todos los campos industriales son altamente intensivos en metales críticos. Convendría encontrar un indicador de huella material de forma paralela a los que existen de huella ecológica y de huella hídrica. Se da la circunstancia que la eficiencia de las nuevas tecnologías llamadas sostenibles (porque disminuyen sus emisiones de gases de efecto invernadero, o disminuye su huella hídrica) se logra a costa de aumentar su huella material. Esto parece indudable si analizamos la digitalización y descarbonización actual de las sociedades avanzadas. La huella material es la gran olvidada de la sostenibilidad. Es hora de proponer un indicador que valore el bono mineral que la naturaleza nos ha dado gratis, pero cuyo expolio pagarán las generaciones futuras.

Para ello, lo primero es hacer un inventario de los elementos químicos existentes que queremos estudiar con su masa correspondiente. Pero como hemos explicado, sumar las masas no aporta información relevante (pues los elementos más comunes suelen ser acero, aluminio y cobre, que enmascaran el mensaje de criticidad). Para evitarlo, podemos sumar los datos de rareza hipotética, R2, es decir:

$$RM = \Sigma\, mj\, RM,j$$

donde RM (kWh) es la rareza compuesta de último recurso del objeto a estudiar, j = 1,…, n, donde n es el número de elementos químicos presentes, mj es la masa de cada elemento y RM,j corresponde a la rareza del último recurso, R2, de cada elemento presente.

Otros autores han estudiado este asunto: cabe señalar el concepto MIPS (Material Input per Unit of Service) de Schmidt-Bleek, quien en 1994 propuso hacer una contabilidad másica de los materiales utilizados en la realización de un servicio, pero discerniendo diferentes clases de materiales[92]. Esta idea parte de constatar que la "mochila material" de los bienes de mercado es enorme. Según Schmidt-Bleek, más del 95% de los materiales necesarios para terminar un producto se convierten en residuos y menos del 1% del total del flujo de recursos se reciclan.

Por supuesto, los análisis de ciclo de vida permiten realizar los balances másicos de cada elemento mediante el material flow analysis (análisis de flujo de materiales) (Bargigli et al., 2005; Femia y Paolantoni, 2008). Inclusive el removal potential of waste materials per kg of metal (potencial de eliminación de materiales de desecho por kg de metal) (Bullock et al., 2021), que mide la cantidad de residuos que se generan por kg de material. Además, resulta evidente que cuanto más valioso es el mineral, mayor es la cantidad de tierra extraída. Todos estos trabajos aportan datos que son de utilidad para nuestros indicadores de costes exergéticos. Pero todos ellos estudian los procesos reales que hay entre la mina y el mercado, no desde la mina actual hasta el último recurso ni, obviamente, hasta Thanatia. Además, estos indicadores suman masas o, en el caso del trabajo de Bullock et al. (2021), convierten todo en emisiones equivalentes de gases de efecto invernadero; no obstante, cuando se extraen de la mina elementos metálicos acompañantes como subproductos, se complica la asignación de costes, problema que (como antes se vio) con los costes exergéticos está resuelto.

Por tanto, utilizaremos la rareza compuesta de último recurso (que llamaremos RCUM), porque da su valor en kWh y es perfectamente aditiva.

Por otra parte, tenemos el indicador de la huella ecológica (HE) que

(siguiendo a su cocreador, Mathis Wackernagel, 1996) mide en hectáreas globales (ha) la cantidad de tierra y mar biológicamente productivos que emplea un individuo, una región, una actividad humana o toda la humanidad. Esto incluye la extracción de recursos renovables, la acomodación de infraestructuras urbanas y de transporte, y la descomposición o absorción de productos de desecho (en particular las emisiones de dióxido de carbono procedentes de los combustibles fósiles). La huella ecológica puede entonces compararse con la superficie de tierra y mar realmente disponible[93].

La huella ecológica da respuesta a una pregunta concreta sobre los recursos: ¿qué parte de la capacidad biológica del planeta requiere una determinada actividad humana o población? Pero no da información sobre la capacidad geológica del planeta. Porque, si bien es posible conocer los costes exergéticos reales y convertirlos a emisiones globales de CO2-equivalente y por tanto a hectáreas de superficie biológica para compensarlas, solo hablaríamos del impacto de la extracción actual, no de su escasez. Evidentemente, los recursos minerales son no-renovables y no podrán ser regenerados por la acción solar, ni siquiera en tiempos geológicos.

Vale la pena recordar a Georgescu-Roegen, quien señaló la diferencia entre irreversibilidad e irrevocabilidad. La irrevocabilidad es la imposibilidad de volver atrás restaurando exactamente lo que era. Irrevocable es algo que no se puede cambiar una vez iniciado. Si quemo una obra maestra pictórica o un combustible fósil, quedarán destruidos para siempre. Por el contrario, la irreversibilidad está asociada a la capacidad de reconstrucción, es decir, al coste de retroceder cuando queremos sustituir algo. Podemos producir hielo a partir de agua que puede volver a convertirse en hielo y repetir sucesivamente la operación. En cada proceso utilizaremos más energía que la estrictamente necesaria para congelar (y por ello, a ese proceso lo llamamos irreversible). Cuanto más complejo es un sistema, más separadas se encuentran la irreversibilidad de la irrevocabilidad. Por ejemplo, la muerte de un ser vivo es un proceso irrevocable (no podemos resucitarlo) mientras que sus procesos vitales son más o menos irreversibles. La irrevocabilidad es un proceso sí/no, mientras que la irreversibilidad se mide en más/menos. El tiempo es irrevocable,

más que irreversible.

De esta forma, la extracción de recursos minerales es un proceso irrevocable, pues parece que sí se podrían reconcentrar (irreversiblemente) los elementos dispersos, mediante economía circular. Por eso llamamos coste de reposición al proceso imaginario de recuperación desde Thanatia hasta la mina. Pero de hecho la economía circular no existe, es un oxímoron: todo proceso irreversible lleva asociadas unas pérdidas que dependen de la eficiencia del proceso de recuperación. Debería llamarse más bien economía espiral (Valero y Valero, 2019), atendiendo a la auténtica naturaleza de todos los procesos físicos. Y la huella ecológica no contabiliza el hecho positivo de recuperar metales mediante economía circular/espiral evitando así su extracción de la naturaleza.

Ahora bien, si tenemos un indicador que mide hectáreas y otro que mide kilowatios-hora no podemos sumarlos, necesitamos algún factor de conversión. Esa objeción puede salvarse atendiendo a que cualquier proceso físico que se pueda medir en unidades de energía acumulada en un tiempo [E]/[t] puede trasladarse a un espacio equivalente simplemente dividiendo por una productividad natural [E]/[L^2]/[t]. El problema es ahora interpretar qué significa el resultado. ¿Cuál es el factor de la productividad planetaria de un depósito mineral?

Propuesta de un factor de huella material

El primer factor de conversión que podemos imaginar es la radiación solar. La constante solar, es decir, la radiación extraterrestre en la superficie de la Tierra es de 1,3608 ± 0,0005 kW/m^2 o 4,898 MJ/m^2/h o 117,6 MJ/m^2/día o 1,951 cal/min/cm^2 (véase, por ejemplo, Duffie y Beckmann, 1991)[94]. Este flujo de energía estable nunca faltó durante la historia de la Tierra e hizo posible su conversión en Gaia, un planeta vivo. Los 4,898 MJ/m^2/h durante 4.500 millones de años son en realidad el coste energético

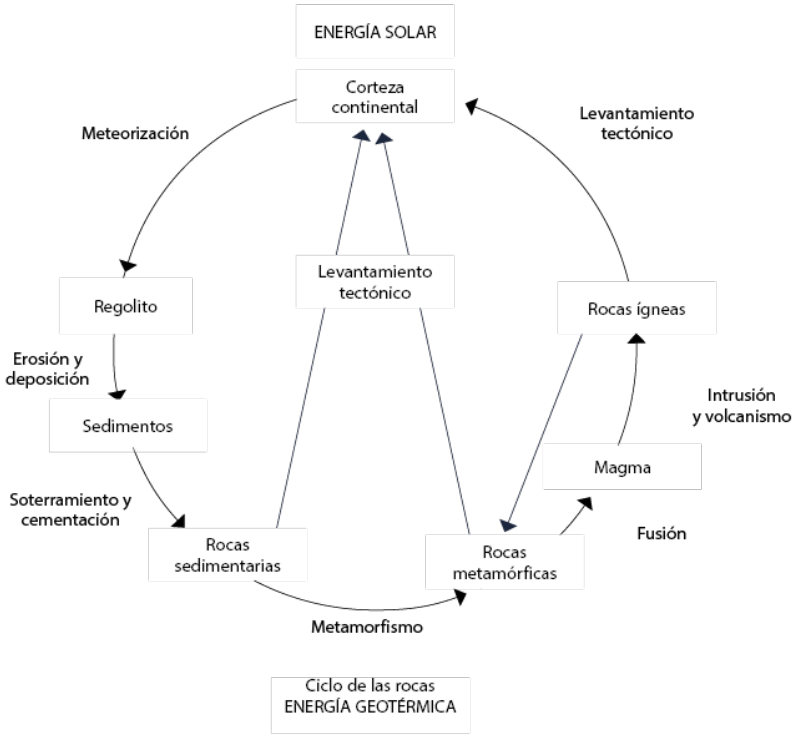
solar de la Tierra, porque esta fue la energía necesaria para producir por fotosíntesis la vida, producir todos los combustibles fósiles y mover, en parte, el ciclo de las rocas.

Según Tyler Miller (1990), solo el 0,02% de la radiación solar extraterrestre se convierte en biomasa a través de la fotosíntesis: el resto de la energía es el 1% del viento y las olas, el 23% de la evaporación del agua, el 42% del calentamiento de la atmósfera y la superficie de la Tierra, mientras que el 34% de la radiación entrante se refleja directamente en las nubes, el polvo y la superficie de la Tierra. Así que de los 117,6 MJ/m^2/día de la constante solar, la productividad primaria media de la biosfera es de 8,4 MJ/m^2/año o 0,023 MJ/m^2/día, lo que demuestra la bajísima eficiencia energética de la fotosíntesis (Odum, 1971).

Lógicamente, la formación de energía fósil es menor que esos 0,023 MJ/m^2/día. De acuerdo con Giampietro y Pimentel (1991), ascendería a 0,016 MJ/m^2/día.

FIGURA 14

El ciclo geológico de las rocas a partir de la figura de Mehrtens (2014)



Fuente: Mehrtens (2014).

Lamentablemente, la formación mineral en el planeta no obedece a ninguno de estos procesos. En otras palabras, se necesita conocer más a fondo la mineralogénesis y su termogénesis, pues la formación geológica de minerales es compleja y requiere estimar la energía necesaria para formarlos. En el libro Thanatia (Valero y Valero, 2014) explicamos que la corteza continental superior es el reservorio de los principales minerales y otros recursos naturales considerados útiles para la humanidad.

Las propiedades físicas y químicas de los minerales están directamente influenciadas por el Sol y la energía geotérmica. Estos dos flujos energéticos son los responsables del movimiento de los materiales desde el interior de la Tierra a la corteza, y de esta al mar o a los ríos, a través de las corrientes, antes de su retorno a la

formación de rocas en el llamado ciclo geoquímico o de las rocas (figura 14). El equilibrio dinámico resultante se denomina equilibrio geoquímico (Craig et al., 2001).

De acuerdo con Skinner, Porter y Botkin (1999), los minerales se concentran de cinco maneras:

Por medio de soluciones acuosas calientes que fluyen a través de fracturas y espacios porosos en la roca de la corteza terrestre para formar depósitos minerales hidrotermales.

Por procesos magmáticos dentro de un cuerpo de roca ígnea para formar depósitos minerales magmáticos.

Por precipitación de agua de lago o de mar para formar depósitos minerales sedimentarios.

Por el flujo de agua superficial en arroyos o a lo largo de la costa para formar depósitos de placer.

Por procesos de meteorización para formar depósitos minerales residuales.

La energía geotérmica recibida por la corteza continental y oceánica proveniente del flujo de calor interno de la Tierra ha sido, a lo largo de la historia geológica del planeta, el mayor generador de depósitos minerales. De acuerdo con Davies y Davies (2010) esa energía corresponde a un flujo promedio de la corteza continental y oceánica de 91,6 mW/m^2, o 7,916 x 10-3 MJ/m^2/día, que equivalen a unos 47 TW de pérdida de calor geotérmico del planeta. De ese flujo, solo el 1% es debido a la actividad volcánica, los terremotos y la generación de montañas. Así que el 99% de esa pérdida se realiza en la superficie por conducción desde el manto a la corteza. Su origen se debe a la descomposición radiactiva, principalmente de uranio (238 y 235), torio (232) y potasio (40), y al calor primordial del núcleo, en menor medida, quizás un 30% del flujo total a la superficie.

La acción solar, junto con la atmósfera y la hidrosfera, han jugado el doble papel de oxidar los minerales emergentes del subsuelo y de dispersar o concentrar los minerales sedimentarios. Ni el Sol ni el oxígeno, el agua o los procesos biológicos son capaces de producir compuestos de exergía elevada, como pueden ser los sulfuros. Esa alta exergía la proveen las acciones magmáticas y metamórficas.

Así pues, es la energía geotérmica de 7,916 x 10-3 MJ/m^2/día la principal causante de la formación de los minerales de alta exergía de la corteza terrestre. Hay que decir que, a pesar de todo, el contenido energético de los minerales es muy bajo en comparación con la biomasa o, sobre todo, los combustibles fósiles. En realidad, este valor de energía geotérmica es el coste oculto de la formación de las rocas a lo largo de los 4.500 millones de años de vida de este planeta. Pero, atención, estamos proponiendo un número general que no distingue el origen mineral. Es decir, si es metamórfico, magmático o sedimentario u otros. Eso es importante porque al aceptar este número estamos implícitamente diciendo que la formación mineral solo se debe a la energía geotérmica, lo cual es cierto en las rocas metamórficas y magmáticas pero infravalora la acción solar tanto directa como indirecta (de acuerdo con el ciclo de las rocas de la figura 13). En otras palabras, 7,916 x 10-3 MJ/ m^2/día sería el coste mínimo de producir un mineral de la corteza terrestre.

A pesar de estas objeciones, podemos comparar el valor de 7,916 x 10-3 MJ/m^2/día con el de la producción primaria neta global de 0,023 MJ/m^2/día y veremos que su velocidad de formación es un 34,4% menor. Si comparamos con los datos suministrados por Giampietro y Pimentel (1991) para la formación de combustibles fósiles de 0,016 MJ/m2/día, veremos que está dentro de su orden de magnitud, siendo su velocidad de formación un 49,5% menor.

Así que ya tendríamos la constante solar más tres factores de conversión de la productividad natural del tipo [E]/[L^2]/[t]:

Constante solar = 117,6 MJ/m^2/día.

Producción primaria neta global = 0,023 MJ/m^2/día.

Producción natural de combustibles fósiles = 0,016 MJ/m^2/día.

Coste energético mínimo para la producción mineral = 7,916 x 10-3 MJ/ m^2/día.

Y con estos números podemos generar un nuevo indicador de huella material, pues, de acuerdo con la figura 11, tenemos que en 2040 se extraerían minerales con una rareza cortical global de 7.023 millones de toneladas equivalentes. Si 1 toe = 4,18 x 10^4 MJ, se obtiene que la PRCM del 2040 sería:

$$7023 \times 10^6 \times 4{,}18 \times 10^4 / 365 \text{ MJ/día} = 80{,}42 \times 10^{10} \text{ MJ/día}$$

Y ahora dividiendo esa extracción por el coste energético mínimo para la producción mineral de la corteza, obtenemos:

$$80{,}42 \times 10^{10} \text{ MJ/día}/(7{,}916 \times 10\text{-}3 \text{ MJ/m}^2\text{/día}) = 10{,}2 \times 10^{13} \text{ m}^2 = 10{,}2 \times 10^9 \text{ ha}$$

El problema ahora es interpretar este resultado, porque el factor relevante es el tiempo. La energía geotérmica de 7,916 x 10-3 MJ/ m^2/día necesita cientos o miles de millones de años para reponer los minerales que estamos extrayendo. Al menos, en el caso de los combustibles fósiles sí sabemos que la acción solar, directa e indirectamente, y a lo largo de varios cientos de millones de años, produce los combustibles fósiles. En términos estrictos, los combustibles fósiles son renovables en tiempos geológicos, con un valor estimado de productividad natural de la Tierra que es de 0,016 MJ/m^2/día. Este razonamiento en los minerales genera muchas incertidumbres, pues unos dependen de la interacción entre la corteza y el Sol, como en el caso de los minerales sedimentarios, y otros dependen casi exclusivamente de la actividad volcánica,

como es el caso de los de origen magmático; mientras que los metamórficos se hallan en una posición intermedia.

Por estas razones tiene su sentido la idea de coste de reposición. Como hemos dicho anteriormente, cuando hemos hablado de irreversibilidad e irrevocabilidad, la extracción de un mineral es irrevocable más que irreversible. Por ello, nunca, en la escala temporal humana, podremos reponer un depósito mineral, pero sí podemos valorar ese bono natural en kWh. Si tuviéramos que reponer el coste exergético de forma natural en vez del depósito mineral, sí podríamos pasar a la superficie terrestre de reposición ese bono natural. En otras palabras, dividiendo la pérdida de capital mineral por la producción primaria neta global, obtendríamos:

$$80{,}42 \times 10^{10}\ \text{MJ/día}/(0{,}023\ \text{MJ/m}^2\text{/día}) = 3{,}496 \times 10^{13}\ \text{m}^2 = 3{,}496 \times 10^{9}\ \text{ha}$$

Y esta superficie sería la que tendríamos que añadir para “reponer” la pérdida de capital mineral del año 2040. Podríamos llamarla huella ecológica de reposición mineral o quizás deuda material[95].

De acuerdo con Wackernagel (1996), para calcular la huella ecológica se utiliza el concepto de hectárea global, definida como la cantidad anual de producción biológica para uso humano y asimilación de residuos humanos por hectárea de tierra o mar biológicamente productiva (en promedio). En 2012 se produjeron aproximadamente 12.200 millones de hectáreas, lo que significa que la huella material del año 2040 sería aproximadamente el 84% de la superficie global de producción y asimilación de residuos.

Y como la Tierra tiene 510,1 millones km^2, es decir, 51,01 x 10^9 ha, ello significa que la deuda material del año 2040 sería del 20% de la superficie planetaria total si tomamos la productividad geológica o un 6,8% si tomamos la productividad biológica global. En definitiva, los valores obtenidos entre ambos métodos mantienen el orden de magnitud, pero la huella ecológica de reposición mineral o deuda material se puede interpretar con más claridad como

superficie equivalente de hectáreas globales para la reposición del capital mineral consumido ese período de tiempo.

Pero aún más importante: si en 2012 la huella ecológica ascendió a 20.100 millones de hectáreas, lo anterior significaría que habría que añadir 3.496 millones de hectáreas de huella material. Una enormidad, pues la deuda material o geológica que nunca se había calculado así supone el 17% de la huella ecológica que solo consideraba la cantidad anual de producción biológica para uso humano y asimilación de residuos humanos. Y esa huella total sería del orden de 3 hectáreas globales por persona (en el caso de que los datos de 2012 valgan para 2040).

No obstante, la certeza de la ley de la entropía nos acerca paulatinamente, sin especificar fechas, hacia el colapso social. Podemos medir con muchos indicadores lo que hacemos, pero no nos preocupa lo que podremos hacer con lo que queda sin explotar aún, con sus costes creciendo exponencialmente a medida que seguimos extrayendo. Cuando observamos un depósito mineral, podríamos pensar que la madre naturaleza nos lo ha regalado o bien que nos ha ahorrado los enormes costes que conlleva su extracción; sin embargo, las generaciones futuras no se podrán beneficiar de esta suerte. Y como desconocemos esos costes evitados por falta de una teoría física, más que económica, los ignoramos. En las cuentas de la extracción habría que añadir sus costes de reposición en forma de deuda material. Estos costes no indican reponer físicamente lo extraído, sino que son un indicador tan tangible como lo es la huella ecológica. Pero la auténtica reposición hay que buscarla en la economía espiral/circular que disminuiría la deuda material. Por ello, es necesario que el mensaje de la huella material de nuestra civilización aparezca en las cuentas de nuestro deterioro ecológico.

Conclusiones

Nicholas Georgescu-Roegen no conoció la exergía ni la

termoeconomía; quizá si las hubiera conocido habría avanzado mucho más. En efecto, en los balances de exergía siempre se pierde una parte, que justamente es la entropía generada multiplicada por la temperatura ambiental, To. Es decir, los balances de exergía son más fáciles de interpretar y al final producen el mismo resultado que los balances de entropía, cuantifican la entropía generada en el mismo proceso. Esa es la clave para poder hablar siempre de entropía y hacer cálculos con exergía. Así que, estimado lector, apreciada lectora, vale la pena pensar en exergías. Y ese pequeño cambio conceptual ha sido capaz de generar toda la termoeconomía ecológica que aquí se ha descrito.

No obstante, el mensaje más importante de Nicholas Georgescu-Roegen es que la ley de la entropía debe ser insertada en el proceso económico. La economía actual ha olvidado de facto (o ignorado solapadamente) la finitud de los recursos del planeta. Para la economía no existen límites al crecimiento: recordemos que en 1971 se publicó el trabajo de Georgescu-Roegen y al año siguiente el primer informe al Club de Roma Los límites al crecimiento (Meadows et al., 1972).

Hemos visto cómo el segundo principio de la termodinámica permite evaluar los recursos minerales a través de introducir nuevos conceptos como Thanatia, exergía, recurso exergético, coste exergético, coste de reposición exergético (también llamado coste natural evitado), rareza termodinámica y procesos de rarefacción. Y de ahí obtener índices como el de la pérdida anual de capital mineral del planeta o el de deuda material, abriendo el camino a nuevos índices (como el de reciclamación metálica) relacionados con la economía espiral (Valero y Valero, 2019).

La ley de la entropía no deja lugar a dudas: sin poner fechas, el planeta Tierra puede degradarse hasta Thanatia. Esa visión permite ver la evolución planetaria de forma retrospectiva: desde la completa degradación hasta la situación actual. Y si dispusiéramos de suficientes datos, se podría ver la velocidad con que la clepsidra de la figura 2 se va llenando.

Como expresamos anteriormente, nuestro objetivo se limita a dar a la economía ecológica fundamentos físicos sobre los que construir una ciencia cuantitativa y objetiva en la medida de lo posible. La

termodinámica es la economía de la naturaleza: no solo da límites de lo posible, sino que permite cuantificar en unidades físicas el cambio de condición física de la materia, sea esta viva o inanimada.

Thanatia nació como un constructo teórico para calcular la exergía de los materiales que la Tierra nos ha provisto. Los termodinámicos utilizamos de forma habitual el concepto de estado muerto para calcular exergías en procesos industriales. Así, por analogía surgió Thanatia para evaluar los procesos mineros que explotan recursos y cuya exergía de origen desconocíamos. Pero las implicaciones de la U exergética nos hicieron ver que el comportamiento exponencial era un fenómeno físico, no de causa humana. La oferta, y no solo la demanda, tiene un comportamiento exponencial, es decir, entrópico (y no olvidemos que los economistas ya habían propuesto la ley de rendimientos decrecientes en la parte social).

La ciencia o es cuantitativa o no lo es. Y ella permite predecir fenómenos y cuantificarlos. Por la certeza que da el segundo principio nos atrevemos a predecir problemas sociales de colapso económico si no trabajamos de forma intensa para evitar Thanatia. En efecto, la minería actual utiliza masivamente energías fósiles, electricidad, agua y reactivos químicos con alta exergía. Diversos estudios evalúan que la minería metálica actual consume alrededor del 10% del consumo energético mundial. Pero la extracción de combustibles fósiles también está sujeta al comportamiento entrópico aquí descrito. Por ello, la energía consumida por la minería no fósil aumentará su precio a la vez que su demanda. En otras palabras, las materias primas de origen minero van a sufrir en el futuro inmensas subidas de precio. Y ello sin haber incluido en nuestros análisis los consumos de agua, reactivos y costes sociales asociados.

Eso significa que las transiciones energética y digital están sometidas a la ley de la entropía. Quienes lleguen primero a implantar energías renovables, automoción eléctrica, hidrógeno y digitalización integral no tendrán demasiados problemas de escasez de materiales (aunque sí de precios, aún asumibles): pero al aumentar especialmente la demanda de materias críticas, aumentarán los precios exponencialmente conforme su demanda crezca.

Tampoco creemos que las energías renovables serán una solución si en un futuro próximo se descarbonizase la minería. Estas energías son muy dependientes de materias primas con alta rareza, lo que conllevará tarde o temprano un aumento de los precios de la energía renovable. Es curioso cómo nuestra sociedad esconde su huella material. Cada vez que se anuncian mejoras en la eficiencia, o en la huella de carbono, se realiza a costa de aumentar la deuda material de los equipos supuestamente mejorados.

No hay materias primas críticas para todos y para todo. El cambio climático nos incita a descarbonizar la economía, pero si no hay materiales suficientes y a precios razonables, será necesario promover urgentemente una economía espiral cada vez más eficiente y una moderación drástica del consumo energético, material e hídrico.

Hemos visto que la rareza termodinámica se mide en términos energéticos y la deuda material puede medirse por superficie planetaria virtual ocupada. Por ello, están evidentemente relacionadas con el consumo global de energía y el impacto en el medioambiente (en forma de ocupación virtual del planeta). El problema del agotamiento de los minerales se convierte, así, no en una ausencia de materiales, sino en un suministro insuficiente de energía. No hay materiales sin energía e igualmente no hay energía sin materiales (y en realidad se da un triple nexo si se tienen en cuenta las consecuencias medioambientales asociadas a la extracción de minerales). En definitiva, los minerales son no renovables, su extracción declina su calidad y su fin de uso es dispersivo (pero no desaparecen, al contrario que la exergía, se destruye con su uso).

Por esas razones, podemos no perder la esperanza con recuperar la “basuraleza”, la “residualeza” o incluso más específicamente la “chatarraleza”. Hay que desarrollar intensamente la economía espiral, la desmaterialización, la sustitución de materiales raros por otros más abundantes y la biomímesis. Hay que aprender de la naturaleza. Y aprender a dar valor a aquello valioso que la naturaleza nos da gratis, porque no sabemos ni queremos amortizarla, es decir, devolverle el préstamo en forma de reposición, regeneración o de recuperación de la dotación

planetaria de nuestro capital mineral que rápidamente estamos degradando. Eso lo pagarán las generaciones futuras. Es un mensaje desde la termodinámica para la tan buscada justicia intergeneracional. La sostenibilidad no puede ser solamente energética, sino también material, atendiendo a cerrar el ciclo de todos los materiales.

La teoría aquí expuesta además arroja luz acerca de por qué los economistas no ecológicos ignoran la ley de la entropía. Ignoran el futuro, los límites al consumo y el comportamiento entrópico de los recursos no renovables, alegando que la tecnología nos salvará. Al incorporar el coste de reposición (que pertenece al espacio de la contabilidad imaginaria) se descubre una nueva forma de pensar. Los matemáticos crearon los números imaginarios y demostraron que son tan útiles como los números reales: gracias a ellos, pudieron formular fenómenos antes incomprendidos. Nadie despreciaría los números imaginarios por ser no reales.

Muchas de estas ideas ya fueron planteadas desde el Club de Roma hace cincuenta años. Pero fue el trabajo de dos economistas insignes, Nicholas Georgescu-Roegen y José Manuel Naredo, el que nos inspiró para desarrollar la termoeconomía de los recursos naturales aquí descrita. Muchas gracias a los economistas, sociólogos y filósofos de la ecología por vuestras ideas. Podemos acabar parafraseando de nuevo la famosa consigna it’s the ecomomy, stupid: ¡ES LA ENTROPÍA, ESTÚPIDO!

BIBLIOGRAFÍA

Agenjo, A. (coord.) (2020): “Investigación-diagnóstico sobre la situación de la enseñanza de la Economía”, Economistas sin Fronteras, https://bit.ly/3wQr639

— (2021): Economía política feminista, Madrid, Los Libros de la Catarata.

Almazán, A. (2021): Técnica y tecnología: cómo conversar con un tecnolófilo, Madrid, Taugenit.

Almazán, A. y González Reyes, L. (2019): “Entre el límite y el deseo: líneas estratégicas en el colapso de la civilización industrial”, El Salto, 23 de diciembre, https://bit.ly/3GqOszJ.

Almazán, A. y Riechmann, J. (2020): Contra la doctrina del shock digital, Ciempozuelos, Centro de Documentación Crítica (CDC).

— (2021): “¿Cómo caminamos hacia el plan C?”, Ecologista, vol. 18, pp. 18-20.

Apilánez, A. (2018): “Sobre el dinero” (I), Trampantojos y embelecos, 4 de noviembre, https://bit.ly/38oDdeB.

Archambalt, E. y Arkhipoff, O. (eds.) (1986) : Premier Colloque de Comptabilité Nationale. Etudes de Comptabilité Nationale, París, Económica.

Arenas, L. (2021): Capitalismo cansado. Tensiones (eco)políticas del desorden global, Madrid ,Trotta.

Arias, A. (2018): La economía política del desastre. Efectos de la crisis ecológica global, Madrid, Los Libros de la Catarata.

Avanessian, A. y Reis, M. (2017): “Introducción”, en A. Avanessian y M. Reis (eds.), Aceleracionismo, estrategias para una transición

hacia el postcapitalismo, Buenos Aires, Caja Negra.

AA VV (2010): “Survey of energy resources”, Londres, World Energy Council.

Aydurmus, D. (2016): Survival Despite the People: Democratic Destruction or Sustainable Democracy, Carolina del Sur, CreateSpace Independent Publishing Platform.

Ayres, R. U. (1996): “INSEAD”, Theories of Economic Growth, Fontainebleau, Center for the Management of Environmental Resources.

Bacon, F. (1994) [1620]: Novum Organum, traducido y editado por P. Urbach y J. Gibson, Chicago, Open Court.

Banoub, D. et al. (2020): “Industrial Dynamics on the Commodity Frontier: managing time, space and form in mining, tree plantations and intensive aquaculture”, Environment and Planning E: Nature and Space, https://bit.ly/3PJ2AZj

Bargigli, S.; Raugei, M. y Ulgiati, S. (2005): “Mass Accounting and Mass-Based Indicators”, en Jørgensen, S. E.; Constanza, R. y Xu Fu-Liu (eds.), Handbook of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health, pp. 353-378.

Bardi, U. (2014): Extracted. How the Quest for Mineral Wealth Is Plundering the Planet, Vermont, Chelsea Green Publishing, White River Junction.

Barnett, H. y Morse, Ch. (1963): Scarcity and Growth, Baltimore, Johns Hopkins University Press.

Bar-Yosef, O. (2002): “The Upper Paleolithic Revolution”, Annual Review of Anthropology, vol. 31, nº 1, pp. 363-393.

Bateson, G. (1976): Verso un’ecologia della mente, Milán, Adelphi.

Bauer, F. (2018): “Narratives of biorefinery innovation for the bioeconomy: conflict, consensus or confusion?”, Environmental Innovation and Societal Transitions, vol. 28, pp. 96-107.

Beeson, M. (2010): “The coming of environmental authoritarianism”, en Environmental Politics, vol. 19, nº 2, pp. 276-294.

Bellamy Foster, J. (2020): “La Dialéctica de la naturaleza de Engels en el Antropoceno”, Viento Sur, nº 173, https://bit.ly/3z0Q7Ku.

Benjamin, W. (2021): Tesis sobre el concepto de historia y otros ensayos sobre historia y política, Madrid, Alianza.

Biehl, J. y Staudenmaier, P. (2019): Ecofascismo: Lecciones sobre la experiencia alemana, Barcelona, Virus editorial.

Biraben, J. N. (2003): “The rising numbers of humankind”, Population & Societies, vol. 394, pp. 1-4.

Blaug, M. (1985): Great Economists Since Keynes, Nueva Jersey, Barnes and Noble.

Bloch, E. (2004): El principio esperanza, vol. 1, Madrid, Trotta.

— (2007): El principio esperanza, vol. 3, Madrid, Trotta.

Boehm, C. (1999): Hierarchy in the Forest: the evolution of egalitarian behaviour, Londres, Harvard University Press.

Boétie, A. De la (2016) [1576]: Discurso de la servidumbre voluntaria, Barelona, Virus Editorial.

Bokat-Lindell, S. (2021): “Do We Need to Shrink the Economy to Stop Climate Change?”, https://nyti.ms/3LRLGVh.

Bonaiuti, M. (2001): La teoria bioeconomica. La “nuova” economia di N. Georgescu-Roegen, Roma, Carocci.

— (2004): Obiettivo Decrescita, Bolonia, Emi.

— (ed.) (2011): From Bioeconomics to Degrowth. Georgescu-Roegen’s “New Economics” in eight essays, Londres, Routledge.

— (2011): “Introduction”, en M. Bonaiuti (ed.), From Bioeconomics to Degrowth. Nicholas Georgescu-Roegen’s New Economics in Eight

Essays, Londres, Routledge.

— (2013): La grande transizione, Turín, Bollati Boringhieri.

— (2014): The Great Transition, Londres, Routledge.

— (2017): Georgescu-Roegen. La sfida dell'entropia, Milán, Jaca Book.

— (2018): "Are we entering the age of involuntary degrowth? Promethean technologies and declining returns of innovation", Journal of Cleaner Production, vol. 197, parte 2, pp. 1800-1809.

Bordera, J. et al. (2022): "Sobre cómo los 'lobbies' diluyen el informe climático más importante del mundo", https://bit.ly/3GvfXYN.

Botella, E. (2021): "Historia y memoria urbana", ponencia en el curso de verano, "¿Y ahora qué? Reescribir el pasado e imaginar los futuros para pensar (y actuar) hoy", Cantoblanco, Sala Polivalente de la Plaza Mayor de la UAM.

Bowman, D. S. et al. (2009): "Fire in the Earth System", Science, vol. 324, pp. 481-484.

Bridgman, P. W. (1943): The Nature of Thermodynamics, Oxford, Oxford University Press.

Bugge, M. et al. (2016): "What is the bioeconomy? A review of the literature", Sustainability, vol. 8, nº 7, p. 691.

Bullock, L. A. et al. (2021): "Global Carbon Dioxide Removal Potential of Waste Materials From Metal and Diamond Mining", Frontiers in Climate, 28 de julio.

Calisto Friant, M.; Vermeulen, W. J. y Salomone, R. (2020): "A typology of circular economy discourses: Navigating the diverse visions of a contested paradigm", Resources, Conservation and Recycling, vol. 161.

Carpintero, Ó. (2006a): La bioeconomía de Nicholas Georgescu-Roegen, Barcelona, Montesinos.

— (2006b): Entrevista de Salvador López Arnal a Óscar Carpintero sobre Nicholas Georgescu-Roegen, El Viejo Topo, https://bit.ly/3wYFMNT.

— (2021): "Nicholas Georgescu-Roegen: un economista transdisciplinar", en Georgescu-Roegen, N. (2021), Ensayos bioeconómicos, edición de Óscar Carpintero, Madrid, Los Libros de la Catarata.

Carrasco, S. (2017): Contra el capitalismo clientelar, Barcelona, Península.

Casal Lodeiro, M. (2020): "El otro negacionismo", en su blog (Des)variamateria, https://bit.ly/38 SA6fg.

Castro Carranza, C. De (2020): El Origen de Gaia: una teoría holista de la evolución, Madrid, Libros en Acción.

Castro, E. (2021): Madrid rediviva. Deseo de ciudad, Logroño, Pepitas de Calabaza.

Cauvin, J. (2000): The birth of the Gods and the origins of agriculture, Cambridge, Cambridge University Press.

Cembranos, F. (2020-2021): "La necesidad de una 'nueva' cultura de la Tierra, Tiempo de paz, vol. 139.

Chapman, P. y Roberts, F. (1983): Metal Resources and Energy: Butterworths Monographs in Materials, Reino Unido, Kent.

Childe, V. G. (1936): Man Makes Himself, Londres, Watts & Co.

Cleveland, C. J. et al. (1984): "Energy and the U. S. economy: a biophysical perspective", Science, vol. 225, nº 4665.

— (2003): "Biophysical constraints to economic growth", en D. al Qubaisi (ed.), Encyclopaedia of Life Support Systems, Oxford, EOLSS Publishers Co., pp. 1-28, http://www. eolss. com/.

Climate Adaptation Initiative (2019): Managed Retreat Conference, Nueva York, Universidad de Columbia, https://adaptation.ei.columbia.edu/retreat/home.

Commoner, B. (1971): The closing circle, Nueva York, Alfred A. Knopf.

Comte, A. (1851): Système de politique positive, ou traité de sociologie, instituant la Religion de l'Humanité, vol. 1, París, Librairie Scientifique-Industrielle de L. Mathias.

— (1852): Catéchisme positiviste, ou Sommaire exposition de la Religion Universelle, en onze entretiens systématiques entre une Femme et un Prêtre de l'Humanité, París, Chez l'auteur.

Cottrell, F. (1955): Energy and Society: The Relation Between Energy, Social Change, and Economic Development, Nueva York, McGraw-Hill.

Cox, D. P. y Singer, D. A. (1987): "Mineral Deposit Models", US Geological Survey Bulletin, nº 1.693.

Craig, J.; Vaughan, D. y Skinner, B. J. (2001): Resources of the Earth: Origin, Use and Environmental Impact, 3ª edición, Nueva Jersey, Prentice Hall.

Crutzen, P. y Stoermer, E. (2000): "The 'Anthropocene'", Global Change News, vol. 41, pp. 17-18.

Daggett, C. (2019): The Birth of Energy. Fossil Fuel, Thermodynamics and the Politics of Work, Durham, Duke University Press.

Daly, H. E. (1995): "On Nicholas Georgescu-Roegen's contributions to Economics: An obituary essay", Ecological Economics, vol. 13, nº 3.

— (ed.) (1997): Special Issue: The Contribution of Nicholas Georgescu-Roegen, número monográfico de la revista Ecological Economics, vol. 22, nº 2.

— (1997): "Forum on Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz", Ecological Economics, vol. 22, nº 3.

Daniel, D. W. et al. (2018): "A Good Life For All Within Planetary Boundaries", Nature Sustainability, vol. 1.

Davies, J. H. y Davies, D. R. (2010): “Earth’s Surface Heat Flux”, Solid Earth, vol. 1, pp. 5-24.

De Waal, F. (2011): La edad de la empatía. Lecciones de la naturaleza para una sociedad más justa y solidaria, traducción de A. García Leal, Barcelona, Tusquets.

Diamond, J. M. (2005): Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed, Nueva York, Viking.

— (2006): Armas, gérmenes y acero: Breve historia de la humanidad en los últimos trece mil años, traducción de F. Chueca, Barcelona, Debate.

Djilas, M. (1957): The new class: An analysis of the Communist System, Nueva York, New Harvest.

Domènech, A. (2019): El eclipse de la fraternidad. Una revisión republicana de la tradición socialista, Madrid, Akal.

Dostaler, G. (2008): “Nicholas Georgescu-Roegen et l’impasse de la croissance économique”, Alternative économique, vol. 266.

Duffie, J. A. y Beckman, W. A. (1991): Solar Engineering of Thermal Processes, Nueva York, John Wiley & Sons.

Dunbar, R. (2014): Human Evolution, Londres, Penguin Books.

— (2007): La odisea de la humanidad: Una nueva historia de la evolución de la raza humana, traducción de N. Fernández Matienzo, Barcelona, Crítica.

Duncan, R. C. (2001): “World energy production, population growth, and the road to the Olduvai Gorge”, Population and Environment, vol. 22, nº 5, pp. 503-522.

Eliade, M. (1949): Le Mythe de l’éternel retour, París, Gallimard.

Engels, F. (1979): Dialéctica de la naturaleza, Barcelona, Grijalbo.

European Commission (2015): “Closing the Loop- An EU Action Plan for the Circular Economy”, Bruselas, Communication From the

Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.

— (2018): “A Sustainable Bioeconomy for Europe: Strengthening the Connection Between Economy, Society and the Environment”, Bruselas, Updated Bioeconomy Strategy.

— (2021): “One year since the outbreak of COVID-19: fiscal policy response”, Bruselas.

Femia, A. y Paolantoni, C. (2008): SEEA-CF Research Agenda: a Note on EW-MFA and Physical Use and Supply Tables, London Group on Environmental Accounting.

Fernández Durán, R. y González Reyes, L. (2018): En la espiral de la energía, vols. 1-2, Madrid, Libros en Acción.

Ferry, L. (1994): El nuevo orden ecológico, Barcelona, Tusquets.

Feyerabend, P. (2001): La conquista de la abundancia, Barcelona, Paidós.

Fisher, M. (2017): Realismo capitalista. ¿No hay alternativa?, Buenos Aires, Caja Negra.

Fischer-Kowalski, M. y Haberl, H. (2015): “Social metabolism: A metric for biophysical growth and degrowth”, en J. Martinez-Alier y R. Muradian (eds.), Handbook of Ecological Economics, Cheltenham, Edward Elgar.

Floyd, J. y Slaughter, R. (2014): “Descent pathways”, Foresight, vol. 16, nº 6, pp. 485-495.

Foster, H. (2001): “El quid del minimalismo”, en H. Foster, El retorno de lo real, Madrid, Akal.

Fourier, Ch. (1851): Publication des manuscrits de Charles Fourier, París, Librairie Phalanstérienne.

Frankfurt, H. (1987): “Equality as a Moral Ideal”, Ethics, vol. 98, pp. 21-43.

Fromm, E. (1979): Psicoanálisis de la sociedad contemporánea, México D. F., FCE.

Gal-Or, B. (1972): “The crisis about the origin of irreversibility and the anisotropy of time”, Science, vol. 176.

García, A. et al. (2018): Outotec HSC Chemistry 9.5 (desarrollador), https://cutt.ly/kH872bv.

Garcia, E. (2004): Medioambiente y sociedad: La civilización industrial y los límites del planeta, Madrid, Alianza.

— (2021): Ecología e igualdad: Hacia una relectura de la teoría sociológica en un planeta que se ha quedado pequeño, València, Tirant lo Blanch.

Geels, F. W. (2005): “Process and patterns in transition and system innovations: Refining the co-evolutionary multi-level perspective”, Technological Forecasting and Social Change, vol. 72, pp. 681-696.

Georgescu-Roegen, N. (1935a): “Note on a proposition of Pareto”, Quarterly Journal of Economics, vol. 49, nº 4.

— (1935b): “Fixed coefficients of production and the marginal productivity theory”, Review of Economic Studies, vol. 3.

— (1936): “The pure theory of consumer behaviour”, Quarterly Journal of Economics, vol. 50, nº 4.

— (1950): “The theory of choice and the constancy of economic laws”, Quarterly Journal of Economics, vol. 64.

— (1954): “Choice, expectations and measurability”, Quarterly Journal of Economics, vol. 68.

— (1958): “Threshold in choice and the theory of demand”, Econometrica, vol. 26, reeditado en Analytical Economics.

— (1960): “Economic theory and agrarian economics”, Oxford Economic Papers, vol. 12.

— (1965a): “The institutional aspects of peasant communities: an

analytical view", Energy and Economic Myths. Institutional and Analytical Essays, Oxford, Pergamon Press.

— (1965b): "Process in farming versus process in manufacturing: a problem of balanced development", Energy and Economic Myths. Institutional and Analytical Essays, Oxford, Pergamon Press.

— (1966): Analytical Economics: Issues and Problems, Cambridge, Harvard University Press.

— (1970): La Science économique. Ses problèmes et ses difficultés, París, Dunod.

— (1971): The Entropy Law and the Economic Process, Cambridge, Harvard University Press.

— (1972): "The Entropy Law and the economic problem", en H. E. Daly (ed.), Toward a Steady-State Economy, San Francisco, Freeman, pp. 37-49.

— (1974): "Dynamic models and economic growth", Energy and Economic Myths. Institutional and Analytical Essays, Oxford, Pergamon Press.

— (1975): "Energía y mitos económicos", El Trimestre Económico, vol. 42, nº 168(4), pp. 779-836.

— (1975a): "Energy and economic myths", Southern Economic Journal, vol. 41, nº 3.

— (1975b): "Bio-economic aspects of entropy", en L. Kubat y J. Zeman (eds.), Entropy and Information in Science and Philosophy, Praga, Amsterdam y Academia.

— (1977a): "Inequality, limits and growth from a bioeconomic view point", Review of Social Economy, vol. 35, nº 3.

— (1977b): "Bioeconomics: A new look at the nature of economic activity", en L. Junker (ed.), The Political Economy of Food and Energy, Michigan, Ann Arbor.

— (1977c): "Matter matters, too", en K. D. Wilson (ed.), Prospects

for Growth: Changing Expectations for the Future, Nueva York, Praeger Press.

— (1978): “Technology Assessment: The Case of the. Direct Use of Solar Energy”, Atlantic Economic Journal, vol. 6, pp. 15-21.

— (1979): “Myths about energy and matter”, Growth and Change, pp. 16-22.

— (1979a): “Energy analysis and economic valuation”, Southern Economic Journal, vol. 64.

— (1979b): “Methods in economic science”, Journal of Economic Issues, vol. 13, nº 2.

— (1979c): Demain la décroissance: entropie-écologie-économie , en J. Grinevald (ed.), Lausana, Pierre-Marcel Favre, nueva edición actualizada en 1995, La Décroissance: entropie-écologie-économie, edición de J. Grinevald e I. Rens, París, Sang de la terre.

— (1979d): “Comments on the papers by Daly and Stiglitz”, en V. Kerry Smith (ed.), Scarcity and Growth Reconsidered, Baltimore, RFT y Johns Hopkins University Press.

— (1981): “The crisis of natural resources”, Challenge, vol. 24, nº 1, pp. 50-56.

— (1982): “The crisis of resources: Its nature and its unfolding”, en G. A. Daneke (ed.), Energy, Economics, and the Environment, Lexington, Lexington Books.

— (1982a): “La dégradation entropique et la destinée prométhéenne de la technologie humaine”, Économie Appliquée, vol. 35, nº 1-2, pp. 1-26.

— (1982b): “Energetic dogma, energetic economics, and viable technologies”, en J. R. Moroney (ed.), Advances in the Economics of Energy and Resources, vol. 4, Greenwich, JAI Press, pp. 1-39.

— (1983): “The promethean condition of viable technologies”, Materials and Society, vol. 7, nº 3-4, pp. 425-435.

— (1984): “Feasible Recipes versus Viable Technologies”, Atlantic Economic Journal, vol. 12, pp. 21-31.

— (1985): Nicholas Georgescu-Roegen papers, 1930-1994, David M. Rubenstein Rare Book & Manuscript Library, Durham, Duke University.

— (1988): “An emigrant from a developing country: Autobiographical notes, I”, Quarterly Review, Banca Nazionale del Lavoro, vol. 164, reeditado en J. A. Kregel (ed.), Recollections of Eminent Economists, Londres, Macmillan.

— (1989): “Quo vadis Homo sapiens sapiens?”, en M. Bonaiuti (ed.), From Bioeconomics to Degrowth. Georgescu-Roegen’s “New Economics” in Eight Essays, Londres, Routledge, pp. 158-170.

— (1992): “Nicholas Georgescu-Roegen about himself”, en M. Szenberg (ed.), Eminent Economists and their Life Philosophies, Cambridge, Cambridge University Press.

— (1993): “An emigrant from a developing country: Autobiographical notes, II”, Quarterly Review, Banca Nazionale del Lavoro, vol. 184.

— (1996): La Ley de la Entropía y el proceso económico, Madrid, Fundación Argentaria/Visor, digitalizada en la web de la Fundación César Manrique, https://bit.ly/3M12clI.

— (1996): La ley de la entropía y el proceso económico, Navalcarnero, Fundación Argentaria-Visor Distribuciones, The Entropy Law and the Economic Process, Cambridge (MA), Harvard University Press.

— (2003): Bioeconomia. Verso un’altra economia ecologicamente e socialmente sostenibile, Turín, Bollati Boringhieri.

— (2011): From Bioeconomics to Degrowth. Nicholas Georgescu-Roegen’s New Economics in Eight Essays, M. Bonaiuti (ed.), Londres, Routledge.

— (2021): Ensayos bioeconómicos, Madrid, Los Libros de la Catarata, edición de Óscar Carpintero.

Gerber, J. F. (2020): “Anti-mining conflicts and degrowth”, Commodity Frontiers, vol. 1, pp. 28-31.

Giampietro, M. (2019): “On the Circular Bioeconomy and Decoupling: Implications for Sustainable Growth”, Ecological Economics, vol. 162, pp. 143-156.

Giampietro, M. y Funtowicz, S. O. (2020): “From elite folk science to the policy legend of the circular economy”, Environmental Science & Policy, vol. 109, pp 64-72.

Giampietro, M.; Mayumi, K. y Sorman, A. H. (2011): The Metabolic Pattern of Societies: where Economists Fall Short, Londres, Routledge.

Giampietro, M. y Pimentel, D. (1991): “Energy efficiency: Assessing the interaction between humans and their environment”, Ecological Economics, vol. 4, pp. 117-144.

Glaub, M. y Hall, C. (2017): “Evolutionary Implication of Persistence Hunting. An Examination of Energy Return on Investment for Kung Hunting”, Human Ecology, vol. 45, pp. 393-401.

Glansdorff, P. y Prigogine, I. (1971): Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations, Nueva York, Wiley Interscience.

Gleria, S. De (1995): “Nicholas Georgescu-Roegen: A mind that thought above his time”, Economia Internationale, vol. 48, nº 3.

González de Molina, M. (ed.) (2019): Historia de La Agricultura Española Desde Una Perspectiva Biofísica, 1900-2010, Madrid, Gobierno de España, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

González de Molina, M. y Toledo, V. M. (2011): Metabolismos, Naturaleza e Historia: Hacia Una Teoría de Las Transformaciones Socioecológicas, 1ª edición, Barcelona, Icaria Editorial.

González Reyes, L. (2021): “Crisis energética”, Papeles. Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Social, nº 156, pp. 67-78.

Gordon, R. J. (2012): “Is US Economic Growth over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds”, National Bureau of Economic Research. National Bureau of Economic, Research Working Paper 18315.

— (2014): “The turtle’s progress: secular stagnation meets the headwinds”, en C. Teulings y R. Baldwin (eds.), Secular Stagnation: Facts, Causes and Cures, Londres, Centre for Economic Policy Research (CEPR), pp. 47-59.

— (2016): The Rise and Fall of American Economy, Princeton, Princeton University Press.

Goudsblom, J. (2012): “Energy and Civilization”, International Review of Sociology - Revue Internationale de Sociologie, vol. 22, nº 3, pp. 405-411.

Gowdy, J. (1993): “Georgescu-Roegen’s utility theory applied to environmental economics”, en J. D. Dragan; E. K. Seifert y M. C. Demetrescu (eds.), Entropy and Bioeconomics, Roma, The First International Conference of the EABS.

— (2016): “Towards a science-based theory of behavior: building on Georgescu-Roegen”, en J. Farley y D. Malghan (eds.), Beyond Uneconomic Growth, Cheltenham, Edward Elgar.

Gowdy, J. y Krall, L. (2013): “Agriculture as a Major Evolutionary Transition to Human Ultrasociality”, Journal of Bioeconomics, vol. 16, nº 2, pp. 179-202.

— (2016): “The economic origins of ultrasociality”, Behavioural and Brain Sciences, vol. 39, p. 92.

Gowdy, J. y Mesner, S. (1998): “The evolution of Georgescu-Roegen’s Bioeconomics”, Review of Social Economy, vol. 56, nº 2.

Graeber, D. (2012): Debito: i primi 5000 anni, Milán, Il Saggiatore.

Graedel, T. et al. (2011): “Recycling Rates of Metals: A Status Report”, Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel, United Nations, Environment Programme (UNEP).

— (2011): “What do we Know About Metal Recycling Rates?”, Journal of Industrial Ecology, vol. 15, pp. 355-366.

Grigor’ev, N. A. (2000): “The average mineral composition of the upper continental crust”, Ural. Geol. J. 2000, vol. 3, pp. 3-21.

Grinevald, J. (1973): “Réflexions sur l’entropie”, Réseaux. Revue interdisciplinaire de philosophie morale et politique, pp. 20-21.

— (1977): “Révolution industrielle, technologie de la puissance et révolutions scientifiques : essai de bibliographique critique”, La fin des outils : technologie et domination, Cahiers de l’IUED, vol. 5, Ginebra, IUED y París, PUF.

— (1978): “Une thermodynamique à visage humain”, La Revue polytechnique, vol. 1372.

— (1980): “Le sens bioéconomique du développement humain: l’affaire Nicholas Georgescu-Roegen”, Revue européenne des sciences sociales, Cahiers Vilfredo Pareto, vol. 18, nº 51.

— (1990): “L’effet de serre de la Biosphère: de la révolution thermo-industrielle à l’écologie globale”, Stratégies énergétiques, Biosphère et Société.

— (1991): “Vernadsky y Lotka como fuentes de la bioeconomía de Nicholas Georgescu-Roegen”, Ecología política, vol. 1.

— (1992): “La révolution bioéconomique de Nicholas Georgescu-Roegen. À propos de la première conférence internationale de bioéconomie à Rome les 28-30 novembre 1991”, Stratégies énergétiques. Biosphère et Société.

— (1995): “L’ingérence des écologistes dans les affaires internationales”, en AA VV, Écologie contre nature, dirigido por Fabrizio Sabelli, Ginebra, Cahiers de l’IUED, https: // books.openedition.org/iheid/2904?lang = es.

— (1996): Prólogo a Nicholas Georgescu-Roegen, La ley de la entropía y el proceso económico, Madrid, Fundación Argentaria/ Visor.

— (2000): “Progrès et entropie: cinquante ans après”, en D. Bourg y J. M. Besnier (eds.), Peut-on encore croire au progrès?, París, PUF.

— (2006): “La révolution industrielle à l’échelle de l’histoire humaine de la Biosphère”, Revue européenne des sciences sociales, vol. 44, nº 134.

— (2007): “L’Anthropocène et la révolution thermo-industrielle”, comentario a Paul Crutzen, “La géologie de l’humanité: l’Anthropocène”, París, Ecologie et Politique.

— (2017): “La révolution vernadskienne”, en G. Aksenov y M. Dennes (dirs.), Vernadsky. La France et l’Europe, Pessac, Maison des Sciences de l’Homme d’Aquitaine, https: //books.openedition.org/msha/8115.

Guattari, F. (1989): Les trois écologies, París, Galiée, edición en castellano, Madrid, Pretextos, 2000.

Haas, W. et al. (2015): “How circular is the global economy? An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005”, Journal of Industrial Ecology, vol. 19, nº 5, pp. 765-777.

— (2016): “How Circular Is the Global Economy? A Sociometabolic Analysis”, Social Ecology, pp. 259-275.

— (2020): “Spaceship Earth’s odyssey to a circular economy: A century long perspective”, Resources, Conservation and Recycling, vol. 163.

Haberl, H. et al. (2011): “A Socio-metabolic Transition towards Sustainability? Challenges for Another Great Transformation”, Sustainable Development, vol. 19, pp. 1-14.

Hagens, N. (2020): “Una economía para el futuro: más allá del superorganismo”, PAPELES de relaciones ecosociales y cambio global, vol. 151.

Hall, C. A. S. et al. (2008): “Peak oil, EROI, investments and the economy in an uncertain future” en D. Pimentel (ed.), Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems: Benefits and Risks,

Springer Dordrecht, pp. 109-132.

Hall, C. A. S.; Lambert, J. G. y Balogh, S. B. (2014): “EROI of different fuels and the implication for society”, Energy Policy, vol. 64, pp.141-152.

Hamilton, C. y Grinevald, J. (2015): “Was the Anthropocene anticipated?”, The Anthropocene Review, vol. 2, nº 1.

Han, B.-CH. (2016): Sobre el poder, Barcelona, Herder.

— (2018): Topología de la violencia, Barcelona, Herder.

Hanáček

, K.; Kröger, M. y Martinez-Alier, J. (2020): “The Arctic Commodity Extraction Frontier and environmental justice conflicts: A network analysis”, en revisión.

Harari, Y. N. (2014): De animales a dioses. Una breve historia de la humanidad, traducción de J. Ros, Barcelona, Debate.

Hardin, G. (1972): Exploring New Ethics for Survival, Baltimore, Penguin.

Harich, W. (1978): Comunismo sin crecimiento, Barcelona, Materiales.

Harte, J. y Socolow, R. (eds.) (1971): Patient Earth, Nueva York, Holt, Rinehart and Winston.

Harvey, D. (2010): The Enigma of Capital, Londres, Profile Books.

— (2020): The Anti-Capitalist Chronicles, Londres, Pluto Press.

Heilbroner, R. L. (1975): An Inquiry into The Human Prospect, Nueva York, W.W. Norton.

Hickel, J. (2019): “Degrowth: a theory of radical abundance”, Real-world Economics Review, nº 87, pp. 54-68, traducción en español en https://bit.ly/3z72PHC.

Hickel, J. y Kallis, G. (2019): “Is Green Growth possible?”, New Political Economy, vol. 25, nº 4.

Horkheimer, M. y Adorno, T. W. (2001): Dialéctica de la Ilustración. Fragmentos filosóficos, Madrid, Trotta.

Illich, I. (1973): Tools for Conviviality, Nueva York, Harper & Row.

— (1981): Shadow Work, New Hampshire, Marion Boyars.

International Energy Agency (2015): World Energy Outlook, París, OECD/IEA.

Jacobs, J. (2005): Dark Age Ahead, Nueva York, Vintage.

Jameson, F. (1991): El posmodernismo o la lógica cultural del capitalismo avanzado, Barcelona, Paidós.

Jevons, W. S. (1866): The Coal Question: An Inquiry Concerning the Progress of the Nation and the Probable Exhaustion of our Coal-Mines, Londres, Macmillan.

Jonas, H. (1995): El principio de responsabilidad. Ensayo de una ética para la civilización tecnológica, Madrid, Herder.

Joseph, S. (ed.) (2019): Commodity Frontiers and Global Capitalist Expansion. Social, Ecological and Political Implications from the Nineteenth Century to the Present Day, Londres, Palgrave Mcmillan.

Jørgensen, S. (2006): Eco-Exergy as Sustainability, Reino Unido, WIT Press.

Jørgensen, S. y Svirezhev, Y. (2004): Towards a Thermodynamic Theory for Ecological Systems, 1ª edición, Ámsterdam, Elsevier.

Kapp, K. W. (1950): The Social Costs of Private Enterprise, Cambridge, Mass, Harvard University Press.

Kautsky, C. (1884): Socialismo e Malthusianismo: l’influenza dell’aumento della popolazione sul progresso della società, traducción de L. Bissolati, Milán, Fratelli Dumolard.

Kerschner, C. (2010): “Economic de-growth vs. steady-state economics”, Journal of Cleaner Production, vol. 18.

Kerschner, C. et al. (2013): “Economic vulnerability to peak oil”, Global Environmental Change, vol. 23.

Kolbert, E. (2015): La Sexta Gran Extinción. Una Historia Nada Natural, Barcelona, Crítica.

Kracht, H. S. (2008): Entropic Creation: Religious Contexts of Thermodynamics and Cosmology, Aldershot, Asghate.

Krauss, R. (2002): “La escultura en el campo expandido”, en R. Krauss, La originalidad de la vanguardia y otros mitos modernos, Madrid, Alianza.

Krugman, P. (2014): “Four observations on secular stagnation”, en C. Teulings y R. Baldwin (eds.), Secular Stagnation: Facts, Causes and Cures, Londres, Centre for Economic Policy Research (CEPR), pp. 61-68.

Kubat, L. y Zeman, J. (eds.) (1975): Entropy and Information in Science and Philosophy, Amsterdam, Elsevier y Praga, Academia.

Kuhn, T. S. (1962): La estructura de las revoluciones científicas, México D. F., FCE.

Kümmel, R. (1989): “Energy as a Factor of Production and Entropy as a Pollution Indicator in Macroeconomic Modelling”, Ecological Economics, vol. 1, nº 2, pp. 161-180.

Kümmel, R. y Schussler, V. (1991): “Heat Equivalents of Noxious Substances: A Pollution Indicator for Environmental Accounting”, Ecological Economics, vol. 3, nº 2, pp. 139-156.

Lallana, M. et al. (2021): “Assessing Energy Descent Scenarios for the Ecological Transition in Spain 2020-2030”, Sustainability, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, vol. 13, nº 21, p. 11867.

Land, N. (2019): Aceleración y colapso. Los escritos de Nick Land (1987-2017), Barcelona, Holobionte Ediciones.

Lane, D. (2009): “From population to organization thinking”, en D. Lane et al. (eds.), Complexity Perspectives in Innovation and Social Change, Berlín, Springer.

Lane, D. et al. (2009): Complexity Perspectives in Innovation and Social Change, Berlín, Springer.

Laplace, P.-S. (1796): Exposición del sistema del mundo, Barcelona, Critica.

Latouche, S. (2005): Come sopravvivere allo sviluppo, Turín, Bollati Boringhieri.

— (2007): Farewell to Growth, 1ª edición, Cambridge, Polity.

— (2007): La scommessa della decrescita, Milán, Feltrinelli.

— (2010): L’invenzione dell’economia, Turín, Bollati Boringhieri.

— (2014): “Foreward”, en M. Bonaiuti, The Great Transition, Londres, Routledge.

— (2014): L’autonomia radicale, Milán, Jaca Book.

— (2016): “Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994)”, en Les précurseurs de la décroissance : une anthologie, Neuve-en-Champagne, Éditions le Passager clandestin.

— (2021): Breve storia della decrescita, Turín, Bollati Boringhieri.

Latour, B. (2019): Dónde aterrizar, Madrid, Taurus.

Leeson, S. M. (1979): “Philosophic Implications of the Ecological Crisis: The Authoritarian Challenge to Liberalism”, Polity, vol. 11, pp. 303-318.

Lenski, G.; Nolan, P. y Lenski, J. (1995): Human Societies: An Introduction to Macrosociology, Nueva York, McGraw-Hill.

Leroi-Gourhan, A. (1950): Milieu et Techniques, vol. 2, París, Albin Michel.

— (2014): Le geste et la parole I: Technique et langage, París, Albin Michel.

Linkola, P. (2011): Can Life Prevail? A Revolutionary Approach to the Enviromental Crisis, Londres, AtkosMedia.

Lotka, A. J. (1945): “The law of evolution as a maximal principle”, Human Biology, vol. 17, nº 3, pp. 167-194.

Lozano, M. y Valero, A. (1993): “Theory of the exergetic cost”, Energy, vol. 18, pp. 939-960.

Machado, A. (1971): Juan de Mairena. Sentencias, donaires, apuntes y recuerdos de un profesor apócrifo, Madrid, Castalia.

Malm, A. (2020): Capital fósil. El auge del vapor y las raíces del capitalismo global, Madrid, Capitán Swing.

Malthus, T. R. (1798): An Essay on the Principle of Population, As It Affects the Future Improvement of Society with Remarks on the Speculations of M. Godwin, M. Condorcet, and Other Writers, Londres, J. Johnson.

Maneschi, A. y Zamagni, S. (1997): “Nicholas Georgescu-Roegen, 1906-1994”, Economic Journal, vol. 107, nº 442.

Mansson, B. A. (1990): Thermodynamics and Economics. In the book: Finite-Time Thermodynamics and Thermoeconomics, Nueva York, Taylor and Francis.

Mantilla González, V. M. (2020): “Crisis energética y posverdad”, América Latina en movimiento, vol. 550, https://bit.ly/3NEYq2Q.

Margalef, R. (1997): Prólogo a La Biosfera de Vladimir I. Vernadsky, Madrid, Fundación Argentaria/Visor.

Martinez-Alier, J. (2002): The Environmentalism of the Poor, Cheltenham, Edward Elgar Publishing.

— (2012): “Environmental Justice and Economic Degrowth: An Alliance between Two Movements”, Capitalism Nature Socialism, vol. 23, nº 1, pp. 51-73.

— (2021): “Mapping ecological distribution conflicts: the EJAtlas”, Extractive Industries and Society, https://bit.ly/3wV69TC.

Martinez-Alier, J. y O’Connor, M. (1996): “Ecological and economic distribution conflicts”, en R. Costanza; J. Martinez-Alier y O. Segura (eds.), Getting Down to Earth: Practical Applications of Ecological Economics, Washington, DC, Island Press/ISEE.

Martinez-Alier, J. y Schlüpmann, K. (1987): Ecological Economics: Energy, Environment and Society, Oxford, Blackwell.

Martinez-Alier, J. et al. (2016): “Is there a global environmental justice movement?”, The Journal of Peasant Studies, vol. 43, nº 3, pp. 731-755.

Marx, K. y Engels, F. (1971): Marx Engels Werke, vol. 20, Berlín, Dietz Verlag.

Maturana, H. y Varela, F. (1987): L’albero della conoscenza, Milán, Garzanti.

Max-Neef, M. (1986): La economía descalza. Señales desde el mundo invisible, Buenos Aires, Nordan.

Mayumi, K. (2001): The Origins of Ecological Economics, Londres, Routledge.

Mayumi, K.; Giampietro, M. y Gowdy, J. (1998): “Georgescu-Roegen/Daly versus Solow/Stiglitz revisited”, Ecological Economics, vol. 27, nº 2.

Mayumi, K. y Gowdy, J. (eds.) (1999): Bioeconomics and Sustainability. Essays in Honor of Nicholas Georgescu-Roegen, Chentelhalm, Edward Elgar.

McCormick, K. y Kautto, N. (2013): “The bioeconomy in Europe: an overview”, Sustainability, vol. 5, nº 6, pp. 2589-2608.

Meadows D. L. et al. (1972): The Limits to growth. A Report for The Club of Rome’s, Nueva York, Universe Books.

Meadows, D. L. et al. (1974): Dynamics of growth in a finite world,

Massachusetts, MIT Press.

Mehrtens, C. (2014): Earth as a Closed System, https://bit.ly/3wOgt0Z.

Meyer, F. (1954): Problématique de l'évolution, París, Presses Universitaires de France.

— (1974): La surchauffe de la croissance, París, Fayard.

Mies, M. y Shiva, V. (2014): Ecofeminismo: teoría, crítica y perspectivas, traducción de M. Bofill, Barcelona, Icaria Editorial.

Mill, J. S. (1871): Principles of Political Economy: With Some of their Applications to Social Philosophy, Londres, Longmans, Green, Reader and Dyer.

Mir, P. y González Calvet, J. (2003): Fondos, flujos y tiempo: un análisis microeconómico de los procesos productivos, Barcelona, Ariel.

— (2007): "El modelo de fondos y flujos y la escala de los procesos productivos", Investigación económica, vol. 66, nº 259.

Missemer, A. (2013): Nicholas Georgescu-Roegen, pour une révolution bioéconomique, Lyon, ENS Éditions.

— (2017): "Nicholas Georgescu-Roegen and degrowth", European Journal of the History of Economic Thought, Taylor & Francis (Routledge), vol. 24, nº 3, pp. 493-506.

Moore, J. W. (2000): "Sugar and the expansion of the early modern world-economy: Commodity frontiers, ecological transformation, and industrialization", Review Fernand Braudel Center, vol. 23, nº 3, pp. 409-433.

Morin, E. (2008): On Complexity, Nueva York, Hampton Press.

Mudd, G. M. (2007): "The Sustainability of Mining in Australia: Key Production Trends and Their Environmental Implications", Research Report 5, Joint Research Report Mineral Policy Institute (MPI) and Department of Civil Engineering, Monash University, Melbourne,

Australia.

— (2010): “The Environmental sustainability of mining in Australia: key megatrends and looming constraints”, Resources Policy, vol. 35, nº 2, pp. 98-115.

— (2010): “The Ultimate Sustainability of Mining-Linking Key Mega-Trends with 21st Century Challenges”, RMIT University, enero de 2010.

Moscovici, S. (1968): Essai sur l’histoire humaine de la nature, París, Flammarion.

Naredo, J. M. (1985): “La crisis actual de la ciencia económica y las revoluciones científicas”, ponencia en el coloquio “La noción de revolución científica en economía”, Montpellier.

— (1986a): “L’axiomatique de l’enregistrement comptable du système économique et les limits de 1’integration d’une comptabilité nationale de patrimoine”, en Archambault, E. y Arkhipoff, O. (eds.), Études de Comptabilité Nationale, Archambault, París, Económica, pp. 157-185.

— (1986b): “La axiomática de la versión usual de sistema económico y sus consecuencias (con especial referencia al tratamiento de los recursos naturales y a la naturaleza de los agregados resultantes)”, Información Comercial Española, nº 634, https://bit.ly/3a0PhTH.

— (1987): La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico, 4ª edición de 2015, Madrid, Siglo XXI.

— (1996): Presentación de Nicholas Georgescu-Roegen, La ley de la entropía y el proceso económico, Madrid, Fundación Argentaria/ Visor.

Naredo, J. M. y Gutiérrez, L. (eds.) (2005): La incidencia de la especie humana sobre la faz de la Tierra (1955-2005), Granada, Fundacion César Manrique/Universidad de Granada.

Naredo, J. M. y Martinez-Alier, J. (1979): “La noción de ‘fuerzas

productivas' y la cuestión de la energía", Cuadernos de Ruedo Ibérico, nº 63-66, https://bit.ly/3LYhcB8.

— (1982): "A Marxist Precursor of Energy Economics: Podolinski", Journal of Peasants Studies, 9, 2 de enero, pp. 207-224.

Naredo, J. M. y Valero, A. (1989): "Sobre la conexión entre termodinámica y economía convencional", Información Comercial Española (ICE), nº 670-671, https://bit.ly/3wYf87T.

— (1999): Desarrollo económico y deterioro ecológico, Madrid, Fundación Argentaria.

Neswald, E. R. (2006): Thermodynamik als kultureller Kampfplatz: Zur Faszinationsgeschichte der Entropie 1850-1915, Berlín, Rombach Verlag.

Nordhaus, W. y Tobin, J. (1972): "ls growth obsolete?", Economic Growth, Nueva York, National Bureau of Economic Research, Columbia University Press.

Norgate, T. y Haque, N. (2010): "Energy and greenhouse gas impacts of mining and mineral processing operations", Journal of Cleaner Production, vol. 18, nº 3. pp. 266-274.

Norgate, T. y Jahanshahi, S. (2010): "Low grade ores. Smelt, leach or concentrate?", Minerals Engineering, vol. 23, nº 2, pp. 65-73.

— (2011): "Assessing the energy and greenhouse gas footprints of nickel laterite processing", Minerals Engineering, vol. 24, nº 7, pp. 698-707.

Novak, A. (2020): "Broken Circle and Spiral Hill: having entropy the Dutch way", https://bit.ly/3Gxxxvp.

Odum, H. T. (1971): Environment, Power and Society, Nueva York, Wiley-Interscience.

Odum, E. P. (1971): Ecología, México D. F., Interamericana.

Ophuls, W. (1977): Ecology and the Politics of Scarcity. Prologue to a Political Theory of the Steady State, San Francisco, W. H.

Freeman.

Palacios, J. L. (2020): Beyond a tonnage perspective for the assessment of mineral resources. Focus on Latin America and the Caribbean, tesis doctoral, Zaragoza, Universidad de Zaragoza.

Parikka, J. (2021): Una geología de los medios, Buenos Aires, Caja Negra.

Peet, R. y Watts, M. (1996): Liberation Ecologies: Environment, Development, Social Movements, Nueva York, Routledge.

Plattes, G. (1639): A Discovery of Infinite Treasury, Hidden since the Worlds Beginning, Londres, I. L.

Praetorius, I. (2016): L'economia è cura. La riscoperta dell'ovvio, Nápoles, IOD Edizioni.

Raffestin, C. (1995): "Les ingérences paradoxales de la pensée écologique", en F. Sabelli (dir.), Écologie contre nature, Ginebra, Cahiers de l'IUED, https://bit.ly/3z6lDGZ.

Riechmann, J. (2012): Interdependientes y ecodependientes: ensayos desde la ética ecológica (y hacia ella), Barcelona, Proteus.

— (2019): Otro fin del mundo es posible, decían los compañeros: sobre transiciones ecosociales, colapsos y la imposibilidad de lo necesario, Madrid, MRA Ediciones.

— (2019): Grafitis para neandertales, Madrid, Eolas.

— (2021): "1971-1972-1973. La fallida 'revolución vernadskiana' (y bioeconómica) y nuestro ingreso en el delirio epistemológico", Papeles de relaciones ecosociales y cambio global, nº 155, pp. 85-101.

Riechmann, J. et al. (2018): Ecosocialismo descalzo. Tentativas, Madrid, Icaria.

Roces, W. (1979): "Prólogo", en Engels. F., Dialéctica de la Naturaleza, México, Grijalbo.

Ross, K. (2015): Lujo comunal. El imaginario político de la comuna de París, Madrid, Akal.

Roth, M. (2004): “An Interview with Robert Smithson”, Robert Smithson, The Museum of Contemporary Art/ University of California Press, Los Angeles/ Berkeley.

Roy, B. y Schaffartzik, A. (2021): “Talk renewables, walk coal: The paradox of India’s energy transition”, Ecological Economics, vol. 180.

s. a. (2021): “Marcia Tiburi, diálogo para frenar el fascismo” (entrevista), El Salto, https://bit.ly/3z3cyik.

s. a. (2022): “Limits to growth? It’s time to end a 50-year argument: Researchers must resolve a dispute on the best way to use and care for Earth’s resources”, Nature, vol. 603, p. 361.

Sahlins, M. (1983): Economía de la edad de piedra, traducción de E. Muñiz y E. Rosa Fondevila, Madrid, Akal.

Saint-Simon, H. (1832): Son premier écrit…, edición de O. Rodrigues, París, Librairie Saint-Simonienne.

Samuelson, P. (1965): “Prefacio” a Analytical Economics, de N. Georgescu-Roegen, Cambridge, Harvard University Press.

Santamaría, A. (2005): El idilio americano. Ensayos sobre la estética de lo sublime, Salamanca, Universidad de Salamanca.

Santiago Muíño, E. (2014): Rutas sin mapa. Horizontes de transición ecosocial, Madrid, Los Libros de la Catarata.

— (2018): “Los frutos podridos de la economía política. Notas para un posmarxismo ecológicamente fundamentado”, en J. Riechmann et al. (2018), Ecosocialismo descalzo. Tentativas, Barcelona, Icaria.

Scheidel A. et al. (2018): “Ecological distribution conflicts as forces for sustainability: An overview and conceptual framework”, Sustainability Science, vol. 13, nº 3, pp. 585-598.

— (2020): “Environmental conflicts and defenders: a global view”,

Global Environmental Change.

Schmidt-Bleek, F. (1993): “MIPS: A universal ecological measure?”, Fresenius Environmental Bulletin, vol. 2, nº 8, pp. 306-311.

— (1994): Wieviel Umwelt braucht der Mensch?: MIPS-Das Mass für ökologisches Wirtschaften, Berlín, Birkhauser Verlag.

Schindler, S. y Demaria, F. (2020): “Garbage is gold: Waste-based commodity frontiers, modes of valorization and ecological distribution conflicts”, Capitalism, Nature and Socialism, vol. 31, nº 4, pp. 52-59.

Schneider, E. D. y Sagan, D. (2005): Into the Cool: Energy Flow, Thermodynamics and Life, Chicago y Londres, University of Chicago Press.

Schumacher, E. F. (1978): Lo pequeño es hermoso, Madrid, Blume.

Seibert, M. K. y Rees, W. E. (2021): “Through the Eye of a Needle: An Eco-Heterodox Perspective on the Renewable Energy Transition”, Energies, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, vol. 14 nº 15, p. 4508.

Sempere, J. (2020): “Revolucionar y ecologizar las fuerzas productivas. Una crítica ecologista del paradigma económico marxista”, Revista de Economía Crítica, nº 30, https://bit.ly/3wZj0Er.

Serres, M. (1977): La naissace de la physique dans le texte de Lucrèce, París, Éditions de Minuit.

— (2017): Darwin, Napoleone e il Samaritano, Turín, Bollati Boringhieri.

Shearman, D. y Smith, J. W. (2007): The Climate Challenge and the Failure of Democracy, Westport, Praeger.

Simondon, G. (2007): El modo de existencia de los objetos técnicos, Buenos Aires, Prometeo Libros.

Skinner, B. J.; Porter, S. C. y Botkin, D. B. (1999): The Blue Planet.

An introduction to earth system science, 2ª edición, Nueva York, John Wiley & Sons.

Smithson, R. (1996): “Entropy Made Visible. Interview with Alison Sky”, en J. Flam, Robert Smithson. The Collected Writings, Berkeley/ Los Angeles/ Londres, University of California Press.

— (2009): Selección de escritos, México D. F., Alias.

Solow, R. (1974): “The economics of resources or the resources of economics”, American Economic Review, vol. 64, nº 2.

Spash , C. (2020): Fundamentos para una economía ecológica y social, Madrid, FUHEM-Los Libros de la Catarata.

— (2020): “Entrevista”, https://bit.ly/3z3i9oV.

Speranza, G. (2017): Cronografías. Arte y ficciones de un tiempo sin tiempo, Barcelona, Anagrama.

Steffen, W. et al. (2011): “The Anthropocene: conceptual and historical perspectives”, Philosophical Transactions of the Royal Society A, vol. 369.

Stiglitz, J. E. (1979): “A neoclassical analysis of the economics of natural resources”, en V. Kerry Smith (ed.), Scarcity and Growth Reconsidered, Baltimore, RFT y Johns Hopkins University Press.

Strand, R. et al. (2021): “Growh without economic growth”, EEA, https://bit.ly/3PSvvdC.

Strumsky, D.; Lobo, J. y Tainter, J. A. (2010): “Complexity and the productivity of innovation”, Systems Research and Behavioral Science, vol. 27, nº 5, pp. 496-509.

Sweezy, P. M. y Baran, P. (1966): El capital monopolista, México D. F., Siglo XXI.

Szargut, J. (1989): “Chemical exergies of the elements”, Applied Energy, vol. 32, nº 4, pp. 269-286.

Tainter, J. A. (1988): The Collapse of Complex Societies,

Cambridge, Cambridge University Press.

— (2006): “Social Complexity and Sustainability”, Ecological Complexity, vol. 3, pp. 91-103.

Tamino, G. (2008): “Quale energia per un futuro sostenibile”, en AA VV Inoltre, Milán, Jaca Book, p. 129.

Tang, A. M.; Westfield, F. M. y Worley, J. S. (eds.) (1976): Evolution, Welfare and Time in Economics: Essays in Honor of Nicholas Georgescu-Roegen, Massachusetts, Lexington Books, Lexington.

Tanuro, D. (2019): “Colapsología: todas las derivas ideológicas son posibles” (entrevista con la revista Ballast), Viento Sur, https://bit.ly/3wUWwpg.

Temper, L. (2016): “Who gets the HANPP (Human Appropriation of Net Primary Production)? Biomass distribution and the bio-economy in the Tana Delta, Kenya”, Journal of Political Ecology, vol. 23, nº 1, pp. 410-433.

Temper, L.; Bene, D. Del y Martinez-Alier, J. (2015): “Mapping the frontiers and front lines of global environmental justice: the EJAtlas”, Journal of Political Ecology, vol. 22, pp. 255-278.

Temper, L. et al. (2018): “The Global Environmental Justice Atlas (EJAtlas): ecological distribution conflicts as forces for sustainability”, Sustainability Science, vol. 13, nº 3, pp. 573-584.

Temper, L. et al. (2020): “Movements shaping climate futures: A systematic mapping of protests against fossil fuel and low-carbon energy projects”, Environmental Research Letters, vol. 15, nº 2.

Tollefson, J. (2022): “Scientists raise alarm over ‘dangerously fast’ growth in atmospheric methane”, Nature, https://go.nature.com/3PQvVAX.

Torres, C. y Valero, A. (2009): “Thermoeconomic Analysis”, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), vol. II, pp. 1-35.

Tran, D. et al. (2020): “Gendered geographies of violence: A

multiple case-study analysis of murdered women environmental defenders", Journal of Political Ecology, vol. 21, nº 1, pp. 1189-1212.

Turiel, A. (2020): Petrocalipsis: crisis energética global y cómo (no) la vamos a solucionar, Madrid, Alfabeto.

Tyler Miller, G. (1990): Resource Conservation and Management, California, Wadsworth Pub. Co. Belmont.

USGS (2007): Mineral commodity summaries, US Geological Survey, http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs.

Valero A. (1997): Termoeconomía: el punto de encuentro de la termodinámica, la economía y la ecología, Madrid, Jornada Sobre Economía y Ciencias de la Naturaleza.

Valero, A. y Valero, A. (2012): "Exergy of comminution and the Thanatia Earth's model", Energy, vol. 44, nº 1, pp. 1085-1093.

— (2013): "From grave to cradle", J. Ind. Ecol., vol. 17, nº 1, pp. 43-52.

— (2014): Thanatia: The Destiny of the Earth's Mineral Resources, Singapur, World Scientific Publishing.

— (2015): "Thermodynamic rarity and the loss of mineral wealth", Energies, vol. 8, nº 2, pp. 821-836.

— (2019): "Thermodynamic Rarity and Recyclability of Raw Materials in the Energy Transition: The Need for an In-Spiral Economy", Entropy, vol. 21, nº 9, p. 873.

Valero, A.; Agudelo, A. y Valero, A. (2011): "The crepuscular planet. A model for the exhausted atmosphere and hydrosphere", Energy, vol. 36, nº 4, pp. 3745-3753.

Valero, A.; Domínguez, A. y Valero, A. (2015): "Exergy cost allocation of by-products in the mining and metallurgical industry", Resources, Conservation and Recycling, vol. 102, pp. 128-142.

Valero, A.; Lozano, M. y Muñoz, M. (1986): "A general theory of

exergy saving. I. On the exergetic cost", en Gaggioli, R. (ed.), Computer-Aided Engineering and Energy Systems. Second Law Analysis and Modelling, Nueva York, The American Society of Mechanical Engineers, pp. 1-8.

Valero, A.; Serra, L. y Uche, J. (2006): "Fundamentals of Exergy Cost Accounting and Thermoeconomics. Part I: Theory", Journal of Energy Resources Technology-Transactions of the ASME, vol. 128, nº 1, pp. 1- 8.

Valero, A.; Valero, A. y Almazán Gómez, A. (2021a): Thanatia. Los límites minerales del planeta, Barcelona, Icaria.

Valero, A.; Valero, A. y Calvo, G. (2021b): Thanatia. Los límites materiales de la transición energética, Zaragoza, Prensas de la Universidad de Zaragoza.

Valero, A.; Valero, A. y Gómez, J. B. (2011): "The crepuscular planet. A model for the exhausted continental crust", Energy, vol. 36, nº 1, pp. 694-707.

Valero, A. et al. (2018a): "Global material requirements for the energy transition. An exergy flow analysis of decarbonisation pathways", Energy, vol. 159, pp. 1175-1184.

— (2018b): "Material bottlenecks in the future development of green technologies", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 93, https://bit.ly/3lTXLi3.

— (2021): "Exergy assessment of topsoil fertility", Ecological Modelling, vol. 464.

Varela, F. G.; Maturana, H. R. y Uribe, R. (1991): "Autopoiesis: The Organization of Living Systems, Its Characterization and a Model", Facets of Systems Science, Boston, Springer.

Vázquez Espí, M. (2010): "La descripción de la insostenibilidad, 1945-1973", Boletín CF + S (Ciudades por un Futuro Más Sostenible), vol. 46 (monográfico sobre "El 'nuevo paradigma' cumple 65 años"), https://bit.ly/3z2inMZ.

Vernadsky, V. I. (1997): La Biosfera, Madrid, Fundación Argentaria/

Visor, Fundación César Manrique, https://bit.ly/3N5SakL.

Victor, P. A. (1991): “Indicators of sustainable development: Some lessons from capital theory”, Ecological Economics, vol. 4.

Vindel, J. (2020): Estética fósil. Imaginarios de la energía y crisis ecosocial, Barcelona, Arcadia.

Vittucci Marzetti, G. (2013): “The flow-fund approach: A critical survey”, Journal of Economic Surveys, vol. 27, nº 2.

Vivien, F. D. et al. (2019): “The hijacking of the bioeconomy”, Ecological Economics, vol. 159, pp. 189-197.

Wade, N. (1975): “Nicholas Georgescu-Roegen: Entropy the measure of economic man”, Science, vol. 190.

Wagensberg, J. (1979): “Nicholas Georgescu-Roegen ante la oscura incertidumbre de la historia”, entrevista, Algo, nº 345, pp. 81-94.

Wallenborn, G. y Gillis, P. (2007): “L’économie et la thermodynamique: analyse critique des thèses de Georgescu-Roegen”, Cahiers Marxistes, nº 235, pp. 139-155.

WCED (World Commission on the Environment and Development) (1987): Our Common Future, Oxford/Nueva York, Oxford University Press.

Wengrow, D. y Graeber, D. (2015): “Farewell to the ‘childhood of man’: ritual, seasonality, and the origins of inequality”, Journal of the Royal Anthropological Institute, vol. 21, pp. 597-619.

White, L. A. (1943): “Energy and the evolution of culture”, American Anthropologist, vol. 45, nº 3, pp. 335-356.

Williams, A. y Srnicek, N. (2017): “Manifiesto para una política aceleracionista”, en A. Avanessian y M. Reis (comps.), Aceleracionismo. Estrategias para una transición hacia el postcapitalismo, Buenos Aires, Caja Negra.

Williams, W. C. (2008): “La vida a orillas del río Passaic”, en W. C. Williams, Cuentos, Madrid, Alianza.

Yoder, C. (1995): “Astrometic and geodetic properties of the Earth and Solar system”, en Ahrens, T. J. (1936), Global Earth Physics: A handbook of physical constants, Amercian geophysical union, pp. 1-31.

Zeman, J. (ed.) (1971): Time in Science and Philosophy. An International Study of Some Current Problems, Amsterdam/ Academia Praga, Elsevier.

RECURSOS WEB

Constante solar: https://es.wikipedia.org/wiki/Constante_solar.

Ecological Footprint: https://bit.ly/3LTohmt.

Global Footprint Network: https://www.footprintnetwork.org/ resources/data/.

Goldmoney: https://bit.ly/3z7Hkqq.

Water distribution on Earth: https://en.wikipedia.org/wiki/ Water_distribution_on_Earth.

Acerca de los autores

y (lamentablemente solo una) autora

Adrián Almazán (Madrid, 1990) es doctor en Filosofía. Investigador posdoctoral Margarita Salas de la Universidad Autónoma de Madrid, miembro del Grupo de Humanidades Ecológicas (GHECO) de dicha universidad, subdirector del Máster en Humanidades Ecológicas, Sustentabilidad y Transición Ecosocial (MHESTE). Sus líneas de investigación se centran en el campo del ecologismo social, las humanidades ecológicas, la filosofía de la tecnología, las nuevas ruralidades, la digitalización y el colapso ecosocial. Entre sus publicaciones destacan libros como Técnica y tecnología. Cómo conversar con un tecnolófilo (Taugenit, 2021) y participaciones en publicaciones colectivas como Ecosocialismo descalzo. Tentativas (Riechmann et al., Icaria, 2018), Contra la doctrina del shock digital (Almazan y Riechmann, CDC, 2020) o Thanatia (Valero et al., Icaria, 2021). Igualmente, ha publicado artículos en revistas internacionales como Enviromental Values, Las Torres de Lucca, Revista Internacional de Educación para la Justicia Social o Écologie politique. Es, además, militante de Ecologistas en Acción y miembro del Grupo de Estudio Autónomo La Torna.

Luis Arenas (Madrid, 1969) es profesor de la Universidad de Valencia. Es autor de los libros Capitalismo cansado. Tensiones (eco)políticas del desorden global (Trotta, 2021), Descartes (RBA, 2015), Fantasmas de la vida moderna. Ampliaciones y quiebras del sujeto en la ciudad contemporánea (Trotta, 2011), Identidad y subjetividad. Materiales para una historia de la filosofía moderna (Biblioteca Nueva, 2002). Asimismo, es coeditor de diversas monografías colectivas, como Marx

contemporáneo (Plaza y Valdés, 2021), El efecto Deleuze (Erial, 2016), Planos de [inter]sección: Materiales para un diálogo entre filosofía y arquitectura (Lampreave, 2011), El legado filosófico del siglo XX (Cátedra, 2005), El retorno del pragmatismo (Trotta, 1999) y El desafío del relativismo (Trotta, 1997). Fue, además, cofundador y director de la revista de filosofía Anábasis y de la colección de filosofía Mínimo Tránsito (Antonio Machado Libros) y fue presidente de la Sociedad Académica de Filosofía.

Mauro Bonaiuti (Módena, 1962) es un economista y académico italiano. Ha enseñado en las universidades de Módena, Bolonia y Parma y enseña en la actualidad Economía Ecológica en el Máster en Sostenibilidad Socioambiental y Economía Solidaria y Sostenibilidad de la Universidad de Turín. Es uno de los especialistas internacionales más importantes en la obra de Nicholas Georgescu-Roegen y uno de los primeros en introducir en Italia la reflexión sobre el decrecimiento. Cofundó la Asociación Italiana de Decrecimiento y es uno de los promotores de la Red Italiana de Economía Solidaria. Entre sus libros destacan La teoria bioeconomica. La "nuova" economia di N. Georgescu-Roegen (Carocci, 2001), Obiettivo Decrescita (EMI, 2004), The Great Transition (Taylor & Francis Group, 2014) o Georgescu-Roegen. La sfida dell'entropia (Jaca Book, 2017).

Ramón del Buey Cañas (Madrid, 1993) es investigador predoctoral FPI en el Departamento de Filosofía de la Universidad Autónoma de Madrid. Miembro del Grupo de Humanidades Ecológicas (GHECO) de dicha universidad y estudiante del Máster en Humanidades Ecológicas, Sustentabilidad y Transición Ecosocial MHESTE (UPV-UAM). Es miembro del proyecto de investigación "Humanidades energéticas: Energía e imaginarios socioculturales entre la revolución industrial y la crisis ecosocial" y del equipo del Laboratorio Filosófico sobre la Pandemia y el Antropoceno de la Red Española de Filosofía. Durante el curso 2021-2022 ha

sido investigador visitante en Duke University (Carolina del Norte, Estados Unidos), donde ha trabajado con el archivo de los Nicholas Georgescu-Roegen papers, 1930-1994.

Óscar Carpintero (Valladolid, 1972) es doctor en Economía. Profesor titular de Economía Aplicada de la Universidad de Valladolid y miembro del Grupo de Energía, Economía y Dinámica de Sistemas (GEEDS) de dicha universidad. Sus líneas de investigación se centran en el campo de la economía ecológica, el metabolismo socioeconómico, la sostenibilidad ambiental de la economía española y energía y cambio climático. Entre sus publicaciones, destacan libros como La bioeconomía de Georgescu-Roegen (Montesinos, 2006), El metabolismo de la economía española: Recursos naturales y huella ecológica (1955-2000) (Fundación César Manrique, 2005) o Entre la economía y la naturaleza (Los Libros de la Catarata, 1999). Igualmente, ha publicado artículos en revistas internacionales como Ecological Economics, Energy Policy, American Journal of Economics and Sociology, Ecological Indicators, Energy o Research in Political Economy.

Herman E. Daly (Houston, 1938) obtuvo en 1996 el Right Livelihood Award, conocido como el Premio Nobel Alternativo, "por su profundo desafío a la ciencia económica tradicional desde una perspectiva ética y ecológica". Se doctoró en Economía en la Vanderbilt University en 1967; ha enseñado en la Louisiana State University, en la London School of Economics, en la Universidad de Ceará (Brasil), en la Yale University, en la Australian National University y, actualmente, es profesor emérito de Economía en la Universidad de Maryland. También fue economista sénior en el Departamento de Medioambiente del Banco Mundial (1988-1994), donde ayudó a desarrollar directrices políticas relacionadas con el desarrollo sostenible. En 1989, Daly participó en la fundación de la International Society for Ecological Economics (ISEE) y ha sido editor asociado de su revista Ecological Economics. Este gran economista realiza una

síntesis de los conceptos clásicos de capital y renta con el medioambiente, las leyes de la termodinámica y los análisis bioecológicos, especialmente el estudio de los flujos de materiales y energía a través de los sistemas económicos. Su trabajo sobre economía y ética es muy innovador: Daly es posiblemente el único economista que ha escrito un libro conjuntamente con un teólogo (Para el bien común, coescrito con John Cobb, FCE, 1993).

Ernest Garcia (Alacant, 1948) es profesor emérito de la Universitat de València, en la que ha sido catedrático de Sociología, decano de la Facultat de Ciències Socials y coordinador de ESDESOST (Grupo de Investigación en Estudios de Sostenibilidad). Es autor de El trampolí fàustic: Ciència, mite i poder en el desenvolupament sostenible (Germania, 1995); Medioambiente y sociedad: La civilización industrial y los límites del planeta (Alianza, 2004); Transitioning to a Post-Carbon Society: Degrowth, Austerity and Wellbeing (Red Globe Press, 2017); y Ecología e igualdad: Hacia una relectura de la teoría sociológica en un planeta que se ha quedado pequeño (Tirant lo Blanch, 2021). Ha sido miembro del comité de coordinación de la red sobre medioambiente y sociedad de la European Sociological Association y presidente de la Associació Valenciana de Sociologia.

Jacques Grinevald (Estrasburgo, 1946) es filósofo, epistemólogo e historiador del desarrollo científico y tecnológico. Este doctor en Filosofía y licenciado en Ciencias Políticas es catedrático emérito de Ecología Global en el Instituto de Altos Estudios Internacionales y del Desarrollo (IHEID) de la Universidad de Ginebra (Suiza) y miembro de la Sociedad Geológica de Londres (fundada en 1807) y de otras asociaciones científicas. Forma parte del Grupo de Trabajo sobre el Antropoceno de la Comisión Internacional de Estratigrafía. Durante muchos años ha enseñado también Historia del Desarrollo Tecnológico en la Escuela Politécnica Federal de Lausana (EPFL). Como amigo de Georgescu-Roegen

y traductor de textos suyos en el libro La Décroissance, Grinevald fue honrado con el Premio Nicholas Georgescu-Roegen 2015 en Pensamiento no convencional (TERI, Nueva Delhi).

Joan Martinez Alier (Barcelona, 1939) es doctor en Economía por la Universidad Autónoma de Barcelona y catedrático emérito del Departamento de Economía e Historia Económica de la misma universidad. Sus líneas de investigación van desde la historia agraria y la historia ambiental hasta la economía ecológica, la política ambiental y la ecología política. Ha sido investigador del St. Anthony's College de Oxford y profesor visitante en la FLACSO, en Ecuador, en la UNICAMP (Campinas, Sao Paulo, Brasil), en la Universidad Libre de Berlín, en la Stanford University, en la Universidad de California (Davis) y en la Yale University. Es miembro fundador de la Asociación Europea de Economía Ambiental y de la Sociedad Internacional de Economía Ecológica, que presidió en 2006-2007. Ha sido colaborador frecuente de revistas alternativas (Cuadernos de Ruedo Ibérico, Bicicleta, Mientras Tanto, Archipiélago) y director de la revista Ecología Política. Entre sus libros publicados cabe destacar El ecologismo y la economía (Edicions 62, 1984), De la economía ecológica al ecologismo popular (Icaria, 1992), Los principios de la economía ecológica (comp., Antonio Machado, 1995), Economía ecológica y política ambiental (con Jordi Roca, FCE, 2001) y El ecologismo de los pobres: conflictos ecológicos y lenguajes de valoración (Icaria, 2004).

José Manuel Naredo (Gijón, 1942) es doctor en Ciencias Económicas y pertenece al Cuerpo Superior de Estadísticos del Estado. Cuenta con una larga experiencia investigadora que combina reflexiones de fondo sobre los fundamentos del pensamiento económico con análisis concretos que abarcan desde el funcionamiento de los sistemas agrarios, urbanos e industriales y su relación con los recursos naturales y el territorio hasta el seguimiento de las burbujas inmobiliario-

financieras. Promovió e introdujo la primera y única edición en castellano de La ley de la entropía y el proceso económico, de N. Georgescu-Roegen (Fundación Argentaria, 1996, https://bit.ly/3wXJzLo). Entre sus libros recientes destacan La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico (Madrid, Siglo XXI, 2015); Economía, poder y política. Crisis y cambio de paradigma (Madrid, Díaz&Pons, 2015); Raíces económicas del deterioro ecológico y social. Más allá de los dogmas (Madrid, Siglo XXI, 2015); Diálogos sobre el oikos, entre las ruinas de la economía y la política (Madrid, Clave Intelectual, 2017); Taxonomía del lucro, 2019 y La crítica agotada. Claves para un cambio de civilización, 2022 (ambos en Madrid, Siglo XXI). Para conocer su trayectoria y sus publicaciones, cabe remitir su página web: elrincondenaredo.org.

Jorge Riechmann (Madrid, 1962) vive en Cercedilla. Ensayista, escribe poesía, actúa en cuestiones de ecologismo social y enseña Ética y Filosofía Política en Madrid (Departamento de Filosofía de la Universidad Autónoma de Madrid). Es doctor en Ciencia Política por la Universidad Autónoma de Barcelona. Dirige la colección Clásicos del Pensamiento Crítico (Los Libros de la Catarata) y codirige dos títulos de posgrado en Humanidades Ecológicas, DESEEEA y MHESTE (UAM-UPV). Sendos tramos de su poesía están reunidos en Futuralgia (Poesía 1979-2000) y Entreser (Poesía 1993-2016) (ambos en Calambur, 2011 y 2021). Con sus dos últimos poemarios publicados (Z, con Huerga & Fierro, y W, con Gato Encerrado) se va acercando al final del alfabeto. Algunos ensayos recientes: Autoconstrucción (Los Libros de la Catarata, 2015), ¿Derrotó el smartphone al movimiento ecologista? (Los Libros de la Catarata, 2016), Ética extramuros (Ediciones UAM, 2016), ¿Vivir como buenos huérfanos? (Los Libros de la Catarata, 2017), En defensa de los animales (Los Libros de la Catarata, 2017), Ecosocialismo descalzo (Icaria, 2018), Otro fin del mundo es posible (MRA, 2019), Informe para la Subcomisión de Cuaternario (Árdora, 2021) o Simbioética (Plaza y Valdés, 2022). Blog: www.tratarde.org. Cuenta de Twitter:

@JorgeRiechmann.

Emilio Santiago Muíño (Ferrol, 1984) es doctor en Antropología social por la Universidad Autónoma de Madrid, investigador y activista ecosocial. Autor, entre otros, de los libros No es una estafa, es una crisis (de civilización) (Enclave, 2015), Rutas sin mapa. Horizontes de transición ecosocial (Premio Catarata de Ensayo, Los Libros de la Catarata, 2016), Opción Cero: el reverdecimiento forzoso de la Revolución cubana (Los Libros de la Catarata-FUHEM, 2017) y ¿Qué hacer en caso de incendio? Manifiesto por el Green New Deal (Capitán Swing, 2019), coescrito con Héctor Tejero. Ha sido profesor de Antropología en la UAM y de Filosofía en la Universidad de Zaragoza. Entre 2016 y 2019 trabajó como director técnico de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Móstoles y en 2020, como asesor parlamentario de Más Madrid y Más País en políticas climáticas y de transición ecológica. Actualmente, es científico titular del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en el Departamento de Antropología, donde es co-IP, junto con Jaime Vindel, del proyecto de investigación sobre Humanidades Energéticas.

Antonio Valero Capilla (Zaragoza, 1951) es catedrático (desde 1986 hasta la actualidad) en el Departamento de Ingeniería Mecánica, Área de Máquinas y Motores Térmicos de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza. Creador de la Fundación CIRCE y promotor del Instituto Mixto con la Universidad de Zaragoza CIRCE (Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos). Dedicado a la I+D de las energías, la eficiencia de los recursos y de la energía, la economía circular y la sostenibilidad. Desde 1986, cuando publicó la Teoría General del Ahorro de Exergía, ha desarrollado diversas ramas de la Termodinámica, como la Termoeconomía y la Exergoecología, cuya aplicación es la evaluación de los recursos minerales e hídricos del planeta. Ha dirigido 40 tesis doctorales sobre estos temas. Coautor, junto con Alicia Valero, de la teoría de Thanatia, sobre la cual han

publicado varios libros, en donde se evalúa termodinámicamente la degradación de los recursos minerales del planeta. Miembro del Club de Roma internacional, Medalla de Oro de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos y profesor Honorífico del la Universiad de Pekín (NCEPU) entre otros reconocimientos.

Alicia Valero Delgado (Zaragoza, 1978) dirige el Grupo de Ecología Industrial en el Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (Instituto CIRCE) y es profesora titular de la Universidad de Zaragoza en el Departamento de Ingeniería Mecánica. Su actividad investigadora, a lo largo de casi dos decenios, se ha centrado en la identificación de medidas de eficiencia de los recursos y en la aplicación de la termodinámica en la evaluación del agotamiento de los minerales, asunto que le ha granjeado cuatro premios internacionales. Es autora o coautora de más de cien publicaciones en revistas internacionales y capítulos de libros, todas ellas relacionadas con el análisis y la optimización de la energía y el uso de materias primas. Actúa como asesora de la Comisión Europea en la EIP sobre materias primas y participa en mesas redondas internacionales para la evaluación de la criticidad de las materias primas.

Jaime Vindel (Madrid, 1981) es doctor europeo en Historia del Arte y máster en Filosofía y Ciencias Sociales. Investigador del Programa de Ayudas Ramón y Cajal (2018) del Instituto de Historia del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, donde es investigador principal de los proyectos de investigación: "Estética fósil: una ecología política de la historia del arte, la cultura visual y los imaginarios culturales de la modernidad" (PIE, ref. 202010E005) y "Humanidades energéticas: energía e imaginarios socioculturales entre la revolución industrial y la crisis ecosocial" (PID2020-113272RA-I00, HUMENERGE). Fue coordinador del bloque "Ecologías culturales" del Programa de Estudios Independientes del Museo de Arte Contemporáneo de Barcelona (ediciones

2017-2018 y 2019-2020) y es autor de libros como Estética fósil. Imaginarios de la energía y crisis ecosocial (Arcadia, 2020), La Familia Lavapiés: arte, cultura e izquierda radical en la transición española (La Bahía, 2019), Transparente opacidad. Arte conceptual en los límites del lenguaje y la política (Brumaria, 2015, 2016 y 2019) o La vida por asalto: arte, política e historia en Argentina entre 1965 y 2001 (Brumaria, 2014) y ha editado, entre otros, el volumen Visualidades críticas y ecologías culturales (Brumaria, 2018) y (junto a Jesús Carrillo) el número 8 de la colección Desacuerdos, Sobre arte, políticas y esfera pública en el Estado español (MACBA, 2014).

COLECCIÓN ECONOMÍA INCLUSIVA

La profundización de la crisis ecosocial reclama un paradigma inclusivo capaz de combinar las perspectivas de la economía política, la economía ecológica y la economía feminista ofreciendo una mirada compleja e integradora. La colección de Economía Inclusiva responde a este reto asumiendo el desafío de construir un paradigma integrador de las distintas corrientes críticas que enlace el análisis y tratamiento de los problemas actuales con las transiciones imprescindibles y urgentes hacia una forma alternativa de producir, intercambiar y distribuir los bienes y servicios necesarios para una existencia socialmente justa y ambientalmente sostenible. En esta línea, el propósito de la colección es acoger materiales teóricos y empíricos, analíticos y propositivos, españoles e internacionales, que traten de entender el tiempo que vivimos y de hacer posibles los procesos de cambio que necesitamos.

Colección

Economía Inclusiva

1. Fundamentos para una economía ecológica y social

Clive L. Spash

2. Economía política feminista

Astrid Agenjo Calderón

Colección

Economía Crítica & Ecología Social (2008-2019)

1. La nueva economía del agua

Federico Aguilera Klink

2. Ciento cincuenta preguntas sobre el nuevo desorden

Carlos Taibo

3. Un futuro sin petróleo

Colapsos y transformaciones socioeconómicas

Roberto Bermejo

4. Prácticas económicas y economía de las prácticas

Crítica del postmodernismo liberal

Luis Enrique Alonso

5. El porqué de las crisis financieras y cómo evitarlas

Frédéric Lordon

6. Capitalismo desatado

Finanzas, globalización y bienestar

Andrew Glyn

7. Economía contracorriente

Antología de David Anisi

Edición de Rafael Muñoz de Bustillo y Fernando Esteve

8. La Gran Recesión y el capitalismo del siglo XXI

José A. Tapia y Rolando Astarita

9. El trabajo de cuidados

Historia, teoría y políticas

Cristina Carrasco, Cristina Borderías y Teresa Torns (eds.)

10. Cambiar de economía

Los Economistas aterrados

11. La financiarización de las relaciones salariales

Una perspectiva internacional

Luis Enrique Alonso y Carlos J. Fernández Rodríguez (eds.)

12. La resposabilidad de la economía española en el calentamiento global

Jordi Roca Jusmet (coord.), Vicent Alcántara, Iñaki Arto, Emilio Padilla y Mònica Serrano

13. La gran bifurcación

Acabar con el neoliberalismo

Gérard Duménil y Dominique Lévy

14. El triunfo de las ideas fracasadas

Modelos del capitalismo europeo en la crisis

Steffen Lehndorff (ed.)

15. Energía para la democracia

Sebastià Riutort Isern

16. La economía mundial

Enfoques críticos

Pedro José Gómez (coord.)

17. Opción Cero

El reverdecimiento forzoso de la Revolución cubana

Emilio Santiago Muíño

18. Small is beautiful, lo grande está subvencionado

Cómo nuestros impuestos contribuyen a la destrucción social y ambiental

Steven Gorelick

NOTAS

1 . ¿Cómo sintetizar ese vasto programa de investigación? La ley de la entropía resulta difícil de entender, y más aún cuantificar la entropía con unidades inteligibles por el profano. Ese quizá fue el problema de Georgescu-Roegen, quien intentó insertar en la economía esta ley sin que sus colegas lo asumieran después de cincuenta años. Sin embargo, la exergía transmite el mismo mensaje que la entropía y además en unidades energéticas comunes, tales como los kWh, perfectamente cuantificables. En el capítulo final de este volumen se expone una introducción a la exergía, a Thanatia y a la termoeconomía ecológica, donde se describen los diferentes conceptos de costes exergéticos y su derivada, la rareza termodinámica de los minerales. Ello abre las puertas a elaboraciones posteriores que responden a las preocupaciones de Georgescu-Roegen orientadas a evaluar la pérdida del capital mineral del planeta y, por primera vez, a presentar una definición de deuda material, medida en hectáreas, para poder compararla con la huella ecológica. La teoría expuesta es capaz de cuantificar muchas ideas que el discurso económico actual debate sin soluciones. Entre las conclusiones que se obtienen, puede explicarse con números que las transiciones energética y digital están también sometidas a la ley de la entropía. Los primeros en adoptar las energías renovables, la automoción eléctrica o el hidrógeno, así como la digitalización integral, no tendrán demasiados problemas de escasez de materiales, pero al ir agotándose los mejores depósitos minerales, su extracción necesitará más y más energía, aumentando los precios exponencialmente. Este comportamiento es una característica de la propia corteza, cuyas leyes de mena declinan a medida que aumenta la demanda. Dada la dotación de capital mineral del planeta, que también obedece a la ley de la entropía, cabe afirmar que la solución renovable al cambio climático no podrá tener lugar por falta de materias primas críticas asequibles para atenuarlo. Para evitar Thanatia es necesario desarrollar estrategias de desmaterialización, imitar a la naturaleza

con biomateriales que sustituyan a los materiales abióticos (basándose en técnicas de biomímesis), sustituir los metales raros por otros más abundantes y desarrollar intensa y urgentemente la economía espiral (que no circular). Y sobre todo provocar un cambio social hacia la moderación del consumo de materiales no renovables. Se trata sencillamente de aplicar la ley de la entropía: ¡ya lo dijo el profesor Georgescu-Roegen hace medio siglo!

2 . Fue en Madrid, el 19 y 20 de octubre, en el Círculo de Bellas Artes. En Valencia, 26 y 27 de octubre, en La Nau. En Zaragoza, el 2 y 3 de noviembre, en la Facultad de Economía y Empresa de la Universidad de Zaragoza. Y en Bilbao, el 9 y 10 de noviembre, en la Facultad de CC. Económicas de la UPV/EHU.

3 * Traducción de Luis Arenas y Jorge Riechmann.

4 . “El estado progresivo es en realidad el estado alegre y cordial para todos los diferentes órdenes de la sociedad; el estacionario es aburrido; el estado declinante induce a la melancolía” (trad. de Luis Arenas y Jorge Riechmann).

5 . “Para remediar en parte la ausencia de un puente de conexión entre la física teórica y la economía en la literatura filosófica moderna, tuve que aventurarme en un gran territorio más allá de los límites de la economía, un territorio para el cual no poseo un conocimiento adecuado. Sin embargo, sentí que valía la pena correr el riesgo. La aventura probablemente marca un comienzo, y alguien debía hacer ese comienzo” (Georgescu-Roegen, 1966, pág. xii) (trad. de Luis Arenas y Jorge Riechmann).

6 . Grinevald, J., La notion d’entropie dans la pensée contemporaine. Fragments pour une recherche holistique sur le

temps, le désordre et la mort, Université de Besançon, Faculté des lettres et sciences humaines, 1973 (inédito).

7 . Obra que acababa de llegar a mis manos gracias al profesor Josef-Maria Jauch, el director de departamento de Física teórica de mi alma mater en el pequeño seminario de Historia de la ciencia que dirigió con el matemático e historiador de la ciencia Pierre Speziali, con quien tengo una deuda de gratitud particular porque me dio textos esenciales para leer, entre otros Joël de Rosnay y Jacques Merleau-Ponty.

8 * Este texto reelabora y amplía lo escrito en Carpintero (2021).

. Los detalles biográficos sobre Nicholas Georgescu-Roegen, contados de primera mano, se pueden leer en Georgescu-Roegen (1989 y 1993).

9 . Una ampliación y profundización sobre la obra de Georgescu-Roegen y de las ideas recogidas en este texto pueden encontrarse por extenso en Carpintero (2006).

10 . Es cierto que, con el largo prólogo de Analitycal Economics, fechado en noviembre de 1964, este carácter de novedad no sería tal, pues sería anterior al artículo de 1965b. Sin embargo, su publicación se retrasó hasta 1966, lo que otorga al artículo anterior esa ventaja.

11 . Sobre los conceptos aritmomórficos y dialécticos, véase Georgescu-Roegen (1971, cap. II) y Georgescu-Roegen (1979b).

12 . Enseñanzas que pueden leerse en los textos recogidos y traducidos recientemente en Georgescu-Roegen (2021).

13 * Título original: “How long can neoclassical economists ignore the contributions of Georgescu-Roegen?”. Este ensayo (en la traducción de Luis Gutiérrez, que retomamos con alguna pequeña corrección) se presentó en la jornada en homenaje a Nicholas Georgescu-Roegen que organizó en Madrid José Manuel Naredo desde la Fundación Argentaria, el 19 de noviembre de 1997 (N. de los eds.).

14 . La aceptación del dogma de que la naturaleza no contribuye en absoluto a la producción permite a algunos economistas neoclásicos suponer que cualquier incremento de la producción no explicado por aumentos del trabajo o del capital ha de ser el resultado de otro factor humanamente creado, concretamente la tecnología. Esos economistas no tienen empacho en afirmar que una cifra residual inexplicada del 50% debe ser realmente una medida de progreso tecnológico (inventiva humana). De hecho, la cifra residual es una medida de algo que no es trabajo ni capital, incluyendo, claro está, los recursos naturales. Para empeorar las cosas, como lo subrayó Georgescu-Roegen, los propios capital y trabajo tienen un contenido en recursos naturales necesario e importante, contenido del que las funciones de producción neoclásicas hacen total abstracción.

15 . Se supone que la función agregada de producción se expresa en unidades físicas, como sucede en microeconomía. Puede ser que las funciones agregadas de producción macroeconómicas se expresen en valor, debido a que se usen los precios para agregar las variables, pero básicamente un “valor en dólares” de capital, trabajo o recursos es una cantidad física. La relación expresada por la función es una relación entre cantidades físicas, no entre valores. Al expresar las cantidades físicas como “valor en dólares” no nos libramos de las leyes físicas del equilibrio material y de entropía.

16 . Para los lectores no familiarizados con mis análisis sobre la génesis y evolución de la noción de producción, quizá valga la pena recordar algunas ideas básicas en relación con la metáfora de la producción. La economía nació como disciplina pretendidamente científica, independiente de la moral y del poder, allá por el siglo XVIII, asumiendo por primera vez la tarea de acrecentar de forma desacralizada "la producción de riquezas renacientes sin menoscabo de los bienes fondo". Y esto ocurrió cuando predominaba una visión organicista del mundo en la que, no solo las cosechas, la pesca o los bosques, sino también los minerales, se suponían sujetos a procesos de crecimiento y perfeccionamiento en el seno de la Madre-Tierra y se pensaba que hasta los continentes y la Tierra misma dilataban sus límites, aportando visos de racionalidad a las ideas de forzar y orientar con la intervención humana el crecimiento de esas producciones hacia fines utilitarios. El famoso Tableau économique de Quesnay (1758) —el más destacado de los autores franceses de la época hoy calificados de "fisiócratas"— incluía, así, los minerales entre las "riquezas renacientes" asociadas a la Madre-Tierra y clasificaba la minería entre las actividades "productivas", junto a la agricultura. Pero este autor insistía en que, según su criterio, producir no era sin más el resultado de revender con beneficio sino de "acrecentar las riquezas renacientes" —que se suponían asociadas a la Madre-Tierra— ya que el lucro podía obtenerse de formas bien variopintas. Pero, como es sabido, tras desplomarse por completo ya en los inicios del siglo XIX la cosmología arcaica que había impregnado de racionalidad a las nociones de producción y crecimiento, estas siguieron gozando de buena salud, al cortar el cordón umbilical que unía originariamente la noción de sistema económico al mundo físico y trasladarlo al universo autosuficiente de los valores monetarios, en el que ha seguido imperando la metáfora absoluta de la producción y el objetivo del crecimiento de la misma como piezas claves de la ideología económica dominante. Así, en contra de lo que postulaba Quesnay, producir acabó siendo simplemente revender con beneficio, pues el invento del PIB, que da visos de realidad a la metáfora de la producción, es el mero resultado de restar al valor monetario en venta de determinados "productos" o "servicios", el valor de lo gastado en su obtención. Lo cual permite, por ejemplo, hablar de producción de oro, de

petróleo, etc., cuando hoy se sabe que se trata de meras extracciones de ciertos stocks singulares que alberga la corteza terrestre, ya que hoy se tiene conciencia de que ni los minerales crecen y se perfeccionan en el seno de la tierra, ni la Tierra dilata sus límites. Por último, la elaboración de las Contabilidades Nacionales desde la segunda mitad del siglo XX otorga realidad monetaria a la idea de sistema económico con la metáfora de la producción y la idolatría del crecimiento (de la producción) a la cabeza. En la axiomática que subyace a la idea usual de sistema económico que registran las Contabilidades Nacionales, al reduccionismo monetario de los flujos de producción, de consumo y ahorro, se añade por fuerza el reduccionismo en las ideas imperantes de riqueza y patrimonio, que se suponen también expresables en dinero, haciendo abstracción de la variada naturaleza física, cultural o financiera de sus componentes.

17 . Adjunté este texto a Nicholas Georgescu-Roegen con una larga carta el 26 de julio de 1985, en la que le comentaba que —como los organizadores del coloquio habían rechazado los textos de Grinevald y de Martínez Alier— le había comentado al secretario del coloquio, Marc Penin que sería paradójico hacer un coloquio sobre las revoluciones científicas en economía sin dar la palabra a los representantes de la única revolución que se estaba planteando en esa ciencia. Al menos quedó mi texto como única contribución en ese sentido.

18 . Puede consultarse el texto en el siguiente enlace de mi blog El rincón de Naredo: http://elrincondenaredo.org/wp-content/uploads/2021/10/La-ciencia-ec.-y-las-rev.-cient%C3%ADficas.-def_corr.pdf.

19 . La primera de ellas fue la ponencia presentada al Primer Coloquio de Contabilidad Nacional celebrado en París el 3, 4 y 5 de diciembre de 1984 (Naredo, 1986a). Después vio la luz una versión en castellano con el título “La axiomática de la versión usual de

'sistema económico' y sus consecuencias (con especial referencia al tratamiento de los recursos naturales y a la naturaleza de los agregados resultantes)" (Naredo, 1986b). Por último, una versión más estructurada y completa del texto forma parte de Naredo (1987, cap. 24). A estas publicaciones se añadió el artículo que hice con Antonio Valero (Naredo y Valero, 1989) que, siguiendo la estela de Nicholas Georgescu-Roegen, mostraba y formalizaba las diferentes versiones del proceso económico que presentan ambas disciplinas. Este artículo retomaba algunas reflexiones iniciadas diez años antes en Naredo y Martinez-Alier (1979). Además, una nueva versión de nuestro artículo vio la luz con el título "A Marxist Precursor of Energy Economics: Podolinski" (Naredo y Martínez-Alier, 1982).

20 . Antropocentrismo, fe en el progreso, fe en la ciencia (tecnolatría) predominio de enfoques analítico-parcelarios, noción occidental de naturaleza humana (con sus creaciones del homo político y económico, siempre ávido de poder y de dinero), ciencias sociales serviles al statu quo que enfrentan especie humana y naturaleza, individuo y sociedad, razón y emoción… y un largo etcétera.

21 . El mismo Nicholas Georgescu-Roegen criticó duramente el empeño de sustituir el imperialismo de los valores monetarios propio del enfoque económico ordinario por un nuevo paradigma energetista, que entronizara la energía como unidad de cuenta.

22 . Por ejemplo, cuando desde un enfoque más amplio y desinteresado resultaba fácil de prever el desenlace crítico de la última gran burbuja inmobiliario-financiera que sacudió nuestro país durante el decenio 1997-2007, los practicantes del enfoque económico ordinario, que oficiaban anclados a la noción usual de "sistema económico", ejercieron más como apologetas del statu quo que como analistas: no solo no previeron el pinchazo de la burbuja, sino que primero pontificaron en los media que no había burbuja y

después que habría un aterrizaje suave. O también que el análisis sobre “los límites materiales de la transición energética” —realizado en el libro que lleva ese subtítulo, Thanatia (Valero, Valero y Calvo, 2021)— ayuda a comprender mejor los procesos de inflación y acaparamiento de las materias primas requeridas por esa transición que estamos viviendo.

23 . El artículo formaba parte del bloque monográfico titulado Energía, política e información, en el que se desvelaba el negocio indirecto de la construcción de centrales nucleares en España, consistente en inflar los presupuestos para obtener enormes beneficios en la fase de construcción, financiados por las compañías eléctricas endeudadas con aval del Estado. El objetivo no era obtener electricidad por un procedimiento que se revelaba caro y problemático. Por eso en Estados Unidos dejaron de construirse al no contar con la opacidad empresarial y el apoyo del Estado presentes en nuestro país. Y en España el aquelarre nuclear acabó colapsando al confluir la movilización ecologista con la insuficiencia presupuestaria, teniendo a la postre el Estado que salvar el sector eléctrico de la bancarrota y nacionalizar las compañías que más se habían extralimitado a través de la empresa pública Endesa. Así, como en muchos megaproyectos, la producción (de electricidad) era el pretexto para la adquisición de lucros desmedidos por las empresas constructoras a costa de pérdidas a sufragar por otros. El dossier desvelaba también el protocolo de la empresa de imagen que asesoraba al lobby nuclear: la clave no era hacer propaganda directa, sino comprar plumas de firmas conocidas para que defendieran la energía nuclear en artículos o editoriales gestionados por una red de periodistas colaboradores a sueldo.

24 . Este principio consiste en aceptar que el movimiento necesita energía para mantenerse, pero en creer que la energía degradada podría emplearse una y otra vez: Engels piensa que los problemas que plantea el segundo principio de la termodinámica se resolverán “cuando se demuestre cómo se puede utilizar de nuevo el calor irradiado en el espacio cósmico”.

25 * Traducción de Andrea Stella.

26 . Sobre la teoría bioeconómica, cf. la colección de ensayos de Georgescu-Roegen (2011), que es ahora la colección más completa de la obra de Georgescu-Roegen sobre bioeconomía en lengua inglesa y contiene también una introducción crítica a la vida y obra del autor.

27 . [La expresión italiana Essere un pozzo di San Patrizio (“ser un pozo de San Patricio”) tiene dos significados diferentes que se contraponen: en el primer caso, puede utilizarse para dirigirse a algo o alguien en sentido positivo, comparándolo con un pozo profundo, que contiene, imaginariamente, muchas “cosas preciosas”, como conocimientos útiles, valores importantes, etc., de los que se puede “sacar ventaja”. En cambio, en el segundo caso, “ser un pozo de San Patricio” se utiliza en sentido negativo, para identificar algo o alguien como un “pozo sin fin”, en el que estamos invirtiendo tiempo, energía y recursos para “llenarlo”, pero al no tener fondo, nunca llegaremos a ese resultado y todo se convertirá un esfuerzo inútil. N del T.]

28 . La economía se ha erigido en ciencia al hacerse autónoma de la ética, por un lado, y de la naturaleza, por otro. Por lo tanto, es correcto decir que, incluso en los años setenta, la ciencia económica seguía siendo una construcción esencialmente “aislada”, independiente de las interacciones con las leyes de la termodinámica y la biología. Esta es la aportación fundamental de Georgescu-Roegen, para quien la bioeconomía merece un papel destacado dentro de la historia del pensamiento económico de la segunda mitad del siglo XX.

29 . Cf. A Good Life For All Within Planetary Boundaries [Una buena vida para todos dentro de los límites del planeta], disponible en https://goodlife.leeds.ac.uk/: último acceso en abril de 2022.

30 . En este artículo, titulado significativamente “How Circular Is the Global Economy? A Sociometabolic Analysis”, los autores sostienen que de las 58 Gt (gigatoneladas) de materiales extraídos, 28 Gt son para uso energético, 26 Gt se añaden a las reservas existentes (y, por lo tanto, permanecen en el sistema), 4 Gt se consumen a lo largo del año y 4 Gt son materiales de desecho (rocas). De ellas, solo se reciclan 4 Gt. Por lo tanto, de los 62 Gt de materiales procesados en total, solo el 7% de los inputs totales del sistema económico se cierran en el ciclo de los materiales.

31 . Vivien et al. (2019) destacan tres interpretaciones principales del término bioeconomía: una se referiría al marco interpretativo propuesto por Georgescu-Roegen, una segunda al sector económico apoyado en la “biotecnología” y, finalmente, una tercera que se referiría al sector de la “bio-based industry”. Estos autores también hablan con razón de un “desvío” (dirottamento) de la bioeconomía.

32 . “La bioeconomía comprende aquellas partes de la economía que utilizan recursos biológicos renovables de la tierra y el mar —como cultivos, bosques, peces, animales y microorganismos— para producir alimentos, materiales y energía”. Disponible en: https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/bioeconomy_en.

33 . “La bioeconomía ofrece a Europa una oportunidad única para abordar complejos retos interconectados, al tiempo que se logra el crecimiento económico”, disponible en: https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/.

34 . A este respecto, cf. el documento confidencial que Georgescu-Roegen había dejado inédito titulado “Nueva economía”, publicado en Bonaiuti (2001: 135).

35 . La bibliografía al respecto es muy extensa. Algunas obras introductorias, que pueden ayudarnos a hacer un balance de estos desarrollos, pueden ser Dunbar (2007 y 2014I); Harari (2014); De Waal (2011). También son importantes las obras clásicas de Sahlins (1983) y Diamond (2006). Además, existe una amplia bibliografía especializada, de la que se pueden encontrar algunas referencias en las notas posteriores.

36 . Este corolario (una nueva forma de gestionar/controlar el proceso) es, en realidad, un añadido mío. La agricultura, por ejemplo, comparada con el sistema de caza y recolección, no representa una nueva transformación cualitativa de la energía, sino un “nuevo modo de gestión” del proceso.

37 . En los artículos publicados entre 1979 y 1989, Georgescu-Roegen vuelve a proponer puntualmente el concepto de tecnologías prometeicas, pero solo se refiere a dos de ellas: el dominio del fuego y, precisamente, la transformación de los combustibles fósiles en trabajo mecánico. Solo en su último ensayo, “Thermodynamics and we the humans”, escrito en los últimos meses de 1991, Georgescu-Roegen habla de la agricultura como la tercera revolución prometeica. Su vacilación estuvo probablemente motivada por el hecho de que la agricultura explota procesos metabólicos endosomáticos (y no exosomáticos) y además no se disponía entonces de pruebas claras sobre el papel que la revolución neolítica desempeñó, por ejemplo, en el crecimiento de la población.

38 . Incluso en economía, tanto entre los clásicos como entre los neoclásicos, la energía nunca ha desempeñado un papel específico y autónomo en la formación del valor. Incluso el intento de Podolinsky de convencer a Marx y Engels del potencial de una teoría energética del valor no produjo ningún resultado relevante. Marx siguió vinculado a la teoría del valor trabajo y la teoría neoclásica a la noción de utilidad. Hay que decir que Georgescu-Roegen también se ha pronunciado siempre en contra de una teoría energética del valor económico. Para Georgescu-Roegen, acertadamente, la baja entropía es una condición necesaria para que un bien tenga un valor económico, pero no es suficiente para determinarlo. Sobre Marx y Podolinsky se puede consultar Martinez-Alier (1991).

39 . Se entiende en este sentido la distancia que tomó Marshall Sahlins, su alumno, de estas posiciones. En algunos pasajes, por ejemplo, White afirma que “la cultura evoluciona a medida que aumenta la productividad del trabajo” y, de nuevo, se refiere a la “ecuación básica” según la cual “la cultura avanza allí donde estos dos factores [energía y producción de bienes] aumentan de la mano” (White, 1943: 345-346). Sin embargo, Sahlins parece ir demasiado lejos hacia una concepción en la que la energía pierde toda relevancia en las formas de organización social.

40 . Sobre el hecho de que no es posible reducir el valor económico de un bien a una única sustancia homogénea, ya sea la energía que contiene o cualquier otra cosa, Georgescu-Roegen ha sido explícito en muchas ocasiones, polemizando con todos los intentos reduccionistas y, en particular, con el tan discutido propuesto por Robert Costanza (Costanza, 1980).

41 . Probablemente no sea una coincidencia que la evolución biológica nunca haya utilizado la combustión para aprovechar la energía de forma endosomática, dados los problemas que plantea este tipo de reacción química (cf. Tamino, 2008: 129).

42 . Sobre los problemas relacionados con la fusión nuclear, tanto en frío como en caliente, y sus rendimientos, cf. Bardi (2014).

43 . Ahora es posible distinguir, a partir de los valores del EROI, entre las tecnologías “vitales” y las “prometeicas”, según una diferencia de grado que no se encuentra en la Georgescu-Roegen. En particular, para ser definida como prometeica, una tecnología debe tener un EROI de al menos 10. Sobre esto también Hall et al. (2008: 109 -132).

44 . El cuerpo humano no evolucionó a lo largo de varios millones de años para roturar la tierra, limpiarla de plantas silvestres y piedras, cuidarla, llevarle agua, etc.: los estudios de los esqueletos de esa época indican que la transición de un estilo de vida que implicaba mucho movimiento (caza y recolección) al estilo de vida de los agricultores provocó un debilitamiento de la estructura ósea, así como la aparición de patologías hasta entonces desconocidas, como dolores articulares y hernias discales. También se produjo una reducción de la altura y la masa muscular, lo que indica una dieta más pobre, sobre todo en vitaminas y minerales, y en general menos variada que la de los cazadores-recolectores. Cf., entre otros, Harari (2014) y Dunbar (2001).

45 . La expresión fue utilizada por Diamond en algunos artículos periodísticos; sin embargo, la base de su argumento puede encontrarse en Diamond (2006).

46 . Disponible en www.ejatlas.org.

47 . Véase https://circularity-gap.world/2020.

48 . Véase https://commodityfrontiers.com/journal/.

49 * Una primera versión de este texto se publicó en Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global 155, Madrid, 2021.

. La posverdad, vista desde el Sur global, es “la llegada del fenómeno ideológico al mundo digital en el que los algoritmos se encargan de reproducir masivamente lo que los sujetos viven como identidad, como legitimación y como visión del mundo. Esta ideología de las fake news es sin duda más movilizadora que la de una interpretación crítica de la realidad a la que es necesario hacer frente, pero que hasta ahora ha sido difícil convertir en programa político (desde arriba o desde abajo); porque su posicionamiento en lo social suena más que constructivo, catastrofista. Es necesario modificar esa percepción: un mundo que ve a la naturaleza como una gran fuerza en equilibrio, de enorme inteligencia, colaborativa y resiliente, y que es la única base posible para la construcción de un futuro viable; no solo es deseable y posible, sino que es —con todas sus dificultades—, una causa para unir a una sociedad en torno a un objetivo” (Mantilla González, 2020: 31).

50 . En 1924 publica en Francia La géochimie, obra pionera igual que La biosfera (publicada en 1926 en ruso).

51 . Comentario final de ella: “Lo peor fue que la mayoría de los estudiantes que aspiran a pertenecer a la futura elite no tuvieron problema con esta presentación del asunto”.

52 . Como ha señalado Patrick Bond, la “conversión” de Harvey al punto de vista de que las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) ahora amenazan a la humanidad y a otras especies llegó extremadamente tarde, ¡solo en un podcast de Anti-Capitalist

Chronicles en julio de 2019! Lo ha reproducido en su reciente libro del mismo título, donde leemos: “Me encontré con una información hace unos cuatro meses que literalmente me voló la cabeza y me hizo repensar muchas de mis posiciones. La información estaba contenida en un gráfico publicado por la NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de EEUU)... Bueno, siempre he opinado que deberíamos tomarnos en serio las cuestiones ambientales, pero he sido profundamente escéptico con respecto a los escenarios y visiones apocalípticas. Pero eso realmente cambió cuando vi las 400 ppm de concentración atmosférica de dióxido de carbono en el contexto de que no se había visto nada por encima de 300 ppm durante los últimos 800.000 años” (Harvey, 2020: 60). A mí me “vuela la cabeza” (blew my mind, dice literalmente el geógrafo marxista) que a él nuestra situación real solo le haya “volado la cabeza” en 2019. Pero ¿en qué mundo ha vivido durante los últimos cincuenta años?

53 . En una entrevista concedida a El Viejo Topo en mayo de 2006, Carpintero aclara lo siguiente sobre el economista rumano-estadounidense: “Se convirtió en uno de los primeros críticos sistemáticos de la epistemología mecanicista, pero no solo a la hora de describir los comportamientos económicos de los individuos, sino —y esto es importante— en lo que atañe a la descripción del proceso económico de producción de bienes y servicios. Un proceso que al tener una naturaleza físico-química, parecía haber quedado al resguardo de toda crítica. Si uno toma cualquier manual estándar de teoría económica verá que allí, cuando se describe el proceso de producción, los factores productivos (trabajo y capital) se transforman sin pérdida o fricción en mercancías listas para venderse, alimentando así un movimiento mecánico circular, reversible y autosuficiente, donde todo lo producido es consumido y viceversa; pero que oculta deliberadamente la contribución de los recursos naturales a la producción, así como la aparición de los residuos y la contaminación que necesariamente se generan en todo proceso de producción o consumo. Pero si el proceso económico implica el uso de energía y materiales, habrá que tener en cuenta las leyes que gobiernan la utilización de esos recursos, y conocer los resultados de las ciencias que se dedican a su estudio, en especial la

termodinámica (y su ley de la entropía). Solo de esta manera cabe argumentar sobre bases sólidas en contra, por ejemplo, del mito del crecimiento económico indefinido, o de la utilización eterna de la energía y los materiales contenidos en la Tierra. […] Georgescu-Roegen conectó economía y termodinámica ya desde finales de los cincuenta, dando realismo a la representación del proceso económico, e incorporando la distinción cualitativa entre los recursos naturales (con baja entropía) antes de que sean valorados monetariamente y de los residuos (alta entropía) una vez que han perdido su valor. Si el proceso de producción de mercancías transforma recursos de baja entropía en bienes y residuos de alta entropía, esto supone un aumento de la energía no aprovechable, o no disponible. Lo que explica que la ley de la entropía esté en la raíz de la escasez económica. Pero Georgescu-Roegen hizo algo más que resaltar este aspecto energético. Sabiendo, como sabía, que la Tierra es un sistema abierto en energía pero cerrado en materiales, llamó la atención sobre el hecho de que, en el futuro, la escasez fundamental no vendría tanto por el lado de la energía (habida cuenta la existencia de la radiación solar), sino por la vertiente de los materiales" (Carpintero, 2006b).

54 . Sin duda, los dos economistas que han hecho una mayor labor por acercar la obra de Georgescu-Roegen al público hispánico, indica Óscar Carpintero, han sido Joan Martínez Alier y José Manuel Naredo, "sobre todo desde finales de los ochenta. Martínez Alier no solo tuvo una relación de amistad importante con el economista rumano, sino que fue el responsable de la única conferencia que Georgescu-Roegen impartió en España durante la primavera de 1980 en la Universidad Autónoma de Barcelona. Además, ha desarrollado un esfuerzo notable en la elaboración de varios homenajes internacionales a Georgescu-Roegen durante los últimos años de su vida y posteriormente. Por su parte Naredo, por ejemplo, lo cita abundantemente en su, ya clásico, La economía en evolución (1987), y contribuyó decisivamente para que en 1996 apareciera por fin la edición en castellano de la principal obra de Georgescu-Roegen (La ley de la entropía y el proceso económico) acabando así, 25 años después, con la anomalía de que dicho libro no estuviera aún vertido a este idioma". (Carpintero, 2006b).

55 . Cuyos presupuestos básicos podemos identificar, de la mano de José Manuel Naredo y Astrid Agenjo, del siguiente modo: 1) racionalidad optimizadora basada en la separación entre medios y fines; 2) relación sujeto-objeto con la naturaleza, mediada por el trabajo; 3) establecimiento del interés económico como guía de comportamiento en sociedades articuladas en torno al funcionamiento (regulado o no) de los mercados; 4) imposición del crecimiento como objetivo último y del proceso de acumulación de capital como principio universal de relación social (véase Agenjo, 2021: 42).

56 . Se podría hablar también de negacionismo energético, como hace Manuel Casal Lodeiro (2020): el que practican “aquellas personas, colectivos sociales, sindicatos, partidos políticos, empresas, etc. que, reconociendo que existe una grave crisis planetaria y dentro de ella la existencia de un cambio climático de origen antropogénico causado por las emisiones de GEI, niegan implícitamente o bien algunos hechos clave o bien las implicaciones necesarias que se siguen de esos hechos. Paso a enumerar estos hechos e implicaciones:

Que las llamadas energías renovables tienen límites y que, por tanto, no pueden mantener un sistema en crecimiento permanente.

Que dichas energías en realidad son sistemas técnicos no renovables de captación de energía.

Que dichos sistemas de captación de energía renovable dependen para su mantenimiento de recursos no renovables, principalmente combustibles fósiles y minerales finitos.

Que dichos sistemas tienen una vida útil relativamente breve, en torno a los 25 años de media, y que una vez finalizada deben ser reemplazados, y que, por tanto son sistemas no renovables de captación temporal de energía.

Que una transición a este tipo de energías implica un descenso en la Tasa de Retorno Energético, es decir, un declive de la energía neta de que dispone la humanidad.

Que, en consecuencia, una civilización basada en energías renovables no podrá hacer más cosas, sino menos: simplificación que si es rápida en términos históricos denominamos con el término colapso.

Que la llamada desmaterialización de la economía no existe más que en términos relativos.

Que la eficiencia en el uso de recursos y de energía no se puede aumentar indefinidamente y topa, por termodinámica, con la ley de rendimientos decrecientes.

Que las mejoras en eficiencia, en un sistema capitalista, quedan anuladas por el efecto rebote (paradoja de Jevons).

Que no se pueden reducir las emisiones de efecto invernadero sin reducir la producción total de bienes y servicios, esto es, el PIB.

Que sin reducir el consumo de energía fósil, todo lo que se añada de energía renovable no la sustituye sino que la complementa, para permitir (por un tiempo) el crecimiento de la demanda energética.

Que la energía fósil está llegando a su cénit de extracciones y a partir de ahora sobrevendrá un declive, que ya se está experimentando en el petróleo crudo desde 2006 y que está llegando ya a algunos derivados como el gasóleo.

Que no existe ninguna energía conocida que pueda sustituir a tiempo, y en la escala y diversidad de usos suficiente al petróleo.

Que la electrificación total de una economía mundial de la escala de la actual requeriría más recursos energéticos y minerales para su puesta en marcha de los que podemos disponer.

Dado que nos quieren embarcar en una supuesta sustitución de energía base (fósil por renovable) sin cambiar el tipo de

metabolismo civilizacional ni el modo de producción capitalista, y que tal como avisa uno de los modelos más avanzados de simulación de transiciones energéticas (MEDEAS) una carrera demasiado rápida y sin priorizar energías según su TRE (una transición energética negacionista de las realidades energéticas suprascritas) puede acelerar el colapso en lugar de evitarlo o atrasarlo, me pregunto: ¿cuál de los dos tipos de negacionismo es más peligroso, el climático o el energético? Júzguenlo ustedes mismos…"

57 . Los bienintencionados ODS de NN UU, por ejemplo, llegan con decenios de retraso…

58 . Coincido con Adrián Almazán y Luis González Reyes (2020) cuando señalan que, tras la crisis sanitaria de la COVID-19, "empeñarnos en retornar a una normalidad que nunca lo fue es lo contrario a lo que necesitamos hoy. La estabilidad no volverá, el crecimiento no continuará y nuestro modo de vida está en sus estertores. Nos enfrentamos a límites y a daños generados por nuestras dinámicas de extralimitación que hacen no solo indeseable, sino imposible seguir adelante como si nada ocurriera. Y el nuestro no es un problema técnico. Las y los expertos no serán capaces de dar con una nueva tecnología que lo resuelva todo, ni la burocracia del estado encontrará una política infalible que nos permita seguir adelante con nuestra vida como si nada. El nuestro es un problema global y radicalmente político. Lo que está en juego es nuestra manera de vivir (que necesariamente va a tener que cambiar profundamente), y quienes protagonicemos ese cambio tenemos que ser las personas organizadas de forma colectiva. Pese a que todos los poderes fácticos se nieguen a reconocerlo, en el futuro cercano nos esperan grandes discontinuidades sociales y metabólicas. La pandemia de la COVID-19 ya nos ha servido para comprender a qué se pueden parecer esas disrupciones, pero lo peor está aún por llegar. En los próximos años, lustros tal vez, todo apunta a que viviremos escasez de energía que se podrá transformar en desabastecimiento de alimentos, en problemas de acceso a combustible, en paralizaciones industriales, etc. También tendremos

que vivir con un clima cada vez más inestable y que, hagamos lo que hagamos, nunca volverá al estado de equilibrio del que todas las sociedades humanas agrícolas habían disfrutado hasta el día de hoy. Olas de calor, sequías, grandes tormentas y huracanes, falta de agua dulce, deshielos… Todo ello ha llegado para quedarse, y para poner en jaque nuestro modelo urbano, nuestro sistema agroalimentario industrial o nuestra gestión del agua".

59 * Este trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto I + D + I: "Racionalidad económica, ecología política y globalización: hacia una nueva racionalidad cosmopolita" (PID2019-109252RB-100).

60 . Este trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto I + D + I "Racionalidad económica, ecología política y globalización: hacia una nueva racionalidad cosmopolita" (PID2019-109252RB-100).

61 . Muchos de los cuales fueron analizados mediante el programa de simulación World3 que los Meadows y colaboradores utilizaron para mostrar los límites del crecimiento (Meadows et al., 1972).

62 . Disponible en www.scientistswarningeurope.org.uk/mission.

63 . "El aceleracionismo es una herejía política: la insistencia en que la única respuesta política radical al capitalismo no es protestar, agitar, criticar, ni tampoco esperar su colapso en manos de sus propias contradicciones, sino acelerar sus tendencias al desarraigo, alienantes, descodificantes, abstractivas" (Avanessian y Reis, 2017: 9).

64 . La Alemania nazi desarrolló desde el año 1933 una detallada legislación para la protección de la naturaleza, el medioambiente y los animales no humanos (cf. Ferry, 1994, cap. 5).

65 . “La democracia es el más miserable de todos los sistemas sociales conocidos, el bloque de construcción de la ruina. Bajo tal sistema de gobierno, la libertad ingobernable de producción y consumo y las pasiones del pueblo no solo son toleradas, sino apreciadas como los valores más altos. Los desastres ambientales más graves ocurren en las democracias. Cualquier tipo de dictadura es superior a la democracia […] Cuando reina la libertad individual, la humanidad es tanto el asesino como la víctima” (Linkola, 2011: 117).

66 . “Para el comunismo es necesario conformar, y conformar por él mismo, las necesidades humanas. Y añadiría además: una conducta justa para con el medioambiente, un uso ahorrativo de las materias primas y de la energía, un consumo consciente y ecológicamente responsable, la protección de la naturaleza, el repudio moral de todo derroche, etc., han de convertirse en la ‘primera necesidad humana’, es decir, en hábito obvio antes de que pueda siquiera pensarse en la realización de la fórmula a cada uno según sus necesidades” (Harich, 1978: 214).

67 . “El pensamiento político moderno […] enfatizó el secularismo, el materialismo, el individualismo y los derechos individuales —piedras angulares de la ideología política del liberalismo y la base del sistema político estadounidense—. La visión resultante de las relaciones del hombre con su prójimo y con el entorno físico hace que las soluciones a la crisis ecológica sean particularmente difíciles en los Estados Unidos porque, contrariamente a la ideología liberal y las instituciones políticas de las que se disfruta aquí durante tanto tiempo, las soluciones requerirán restricciones individuales y grupales” (Leeson, 1979: 303-304).

68 . “Por lo tanto, parece que si, en condiciones de escasez ecológica, los individuos persiguen racionalmente su propio interés material sin las restricciones de una autoridad común que defiende el interés común, el resultado final está destinado a ser la ruina ambiental común […] La única solución es una medida de coerción suficiente […] Ciertamente, la democracia tal como la conocemos no puede sobrevivir” (Ophuls, 1977: 151-152). Cf. también Heilbroner (1975) y Hardin (1972).

69 . Desde luego, no todo suficientarismo es decrecentista. Por ejemplo, un suficientarismo de derechas como el que defiende entre nosotros el economista Santiago Niño Becerra apuesta por garantizar un mínimo vital para el grueso de la población, que minimice los previsibles conflictos sociales que enfrentarán las sociedades ante un previsible horizonte de escasez. A veces de manera explícita esa paz social se vincula, además de con una renta básica, con una liberalización en el acceso a las drogas o al ocio entumecedor. Tampoco es decrecentista el suficientarismo liberal Harry Frankfurt. De acuerdo con Frankfurt (1987), lo que resulta relevante desde un punto de vista moral no es tanto la igualdad de bienes cuanto que la totalidad de los miembros de una sociedad tengan lo suficiente: por encima de ese umbral de suficiencia podríamos desentendernos en términos de obligaciones morales de las diferencias en la asignación de bienes a los individuaos de una sociedad.

70 . Robert L. Heilbroner recoge la siguiente declaración de un “distinguido catedrático de economía política” de la Universidad de Londres publicada en la Business and Society Review: “Supongamos que, como resultado de agotar todos los recursos del mundo, la vida humana llegara a su fin. ¿Y qué? ¿Qué tiene de deseable una continuación indefinida de la especie humana, aparte de las convicciones religiosas? Puede ser que casi todos los que ya están aquí en la tierra se muestren reacios a morir, y que todo el mundo tenga un miedo instintivo a la muerte. Pero uno no debe confundir

esto con la noción de que, en cualquier sentido significativo, se pueda decir que las generaciones que aún no han nacido están mejor si nacen que si no" (Heilbroner, 1975: 170).

71 . Las referencias al libro incluidas en este texto remiten a la traducción castellana, publicada en 1996. He considerado conveniente hacerlo así porque la valiosa aportación editorial que representó dicha traducción merece ser reivindicada y difundida.

72 * Este ensayo ha sido escrito gracias al contrato Ramón y Cajal (2018) del que disfruto y como parte de los proyectos de investigación I + D + i que dirijo (PIE 202010E005 y PID2020-113272RA-I00) y en los que participo (HAR2017-82755-P, PID2019-109252RB-I00 y PID2019-107757-RB-100).

73 . Así lo ha señalado Anja Novak en un ensayo de reciente publicación: "La entropía es un término procedente del ámbito de la física que Smithson se apropió y enriqueció mediante asociaciones, convirtiéndolo en un concepto artístico fluido que daría forma a su estética de los lugares posindustriales y a su concepción general de los procesos creativos" (Novak, 2020).

74 . Claramente, este pasaje de la entrevista se retrotraía al capítulo dedicado por Georgescu-Roegen al análisis de las relaciones entre entropía, valor y desarrollo (Georgescu-Roegen, 1996: 347 y ss.).

75 . "Probablemente lo opuesto al despilfarro es el lujo. Tanto el despilfarro como el lujo tienden a ser inútiles. Luego hay una especie de noción de clase media del lujo que a menudo se llama 'calidad'. Y la calidad se basa en el gusto y la sensibilidad" (Georgescu-Roegen, 1996: 302-303).

76 . Así se cerraba el capítulo dedicado a la relación entre entropía, valor y desarrollo, central en la antropología termodinámica propuesta por el libro: “[...] la existencia de las elites hace inevitable la producción de bienes de lujo —simple consecuencia del hecho de que, por definición, tales bienes satisfacen necesidades que no entran en juego antes de que la renta de una persona se halle muy por encima de la renta media de la colectividad—. En pocas palabras, esto es más o menos en lo que consiste el conflicto de clases” (Georgescu-Roegen, 1996: 390). Dicho esto, considero que Georgescu-Roegen acertaba cuando pronosticaba la persistencia del conflicto de clases y de la evolución político-social más allá de la posible superación o colapso del sistema industrial capitalista.

77 . Rescato aquí los fragmentos que me resultan más problemáticos en la discusión que Georgescu-Roegen mantiene con Ruskin y Marx, en tanto pueden entrañar una deshistorización del ascenso del capitalismo industrial: “[La separación entre el campo y la ciudad es] la consecuencia natural de la evolución exosomática de la humanidad, así como de la diferencia que esta evolución ha creado entre el proceso en la agricultura y el proceso en la industria”. Por tanto, la fractura metabólica campo-ciudad “se remonta al comienzo de la civilización humana a través del desarrollo de las artes industriales como actividad separada” (Georgescu-Roegen, 1996: 387).

78 . Andreas Malm describe cómo la aplicación de los combustibles fósiles se hizo indispensable tras la conquista de la jornada laboral de diez horas (Ten Hours Act, 1847), que dificultaba las formas de explotación asociadas con la plusvalía absoluta (Malm, 2020).

79 . “El sol se convirtió en un monstruoso reflector que proyectaba una serie dispersa de ´fotogramas` desde mi Instamatic hasta mi ojo. Caminar sobre el puente fue como entrar a una enorme fotografía

hecha de madera y acero; por debajo, el río existía como una gigantesca película que lo único que mostraba era un vacío continuo" (Smithson, 2009: 91).

80 . "Las herramientas tecnológicas se vuelven parte de la geología de la Tierra al retroceder a su estado original. Las máquinas, como los dinosaurios, deben regresar al polvo o a la herrumbre. Podríamos decir que una 'des-arquitectura' tiene lugar antes de que el artista establezca sus límites en el exterior de la habitación o del taller" (Smithson, 2009: 119).

81 . Que puede leerse en Valero y Valero (2014): Thanatia. The Destiny of the Earth's Mineral Resources: A Cradle-to-cradle Assessment, Singapur, World Scientific Publishing.

82 . Véase https://bit.ly/3yQqxIk (último acceso: 06/06/202).

83 . Ese 2,5% del total de las aguas dulces se encuentra casi toda en los polos, en forma de hielo, especialmente en la Antártida y en Groenlandia. El resto es marginal, aunque nos parezca inmenso.

84 . Un escenario que solo debería producirse si la humanidad no emprende una búsqueda efectiva de medios alternativos de desarrollo, que podrían incluir el uso masivo de otras fuentes de energía que no afecten al clima y al cierre de los ciclos materiales, como hace la propia naturaleza.

85 . En la actualidad, acontecimientos como la crisis financiera de 2008, la pandemia de 2020 y la guerra de Ucrania en 2022 nos hacen ver cómo la ruptura de las cadenas de suministro de materias

primas crean caos económicos difícilmente antes imaginados.

86 . Evidentemente, resulta más fácil explicar este comportamiento con la exergía que con la entropía; a pesar de todo, no olvidemos que la exergía destruida es siempre igual a la temperatura ambiente multiplicada por la entropía (ley de Gouy-Stodola).

87 . Por el contrario, en otras manifestaciones energéticas tales como las energías cinética, potencial, magnética, eléctrica o bien la de los combustibles fósiles o de la biomasa su energía coincide con su exergía. Sin embargo, cada energía tendrá su propia historia y, por tanto, su coste exergético, que dependerá del proceso que la ha generado.

88 . De momento, solo los abióticos, pero un colega danés, S. Jorgensen (2003, 2004), desarrolló el concepto de ecoexergía cuya idoneidad hemos investigado para evaluar también los recursos bióticos, abriendo la puerta a evaluar exergéticamente también a los seres vivos (Valero; Palacino; Ascaso y Valero (2022): “Exergy assessment of topsoil fertility”, Ecological Modelling, 464, 109802 y Valero et al., 2021a).

89 . Por tanto, de estos últimos no conocemos las propiedades fisicoquímicas que nos permitirían evaluar su exergía asociada ni, por supuesto, sus costes de extracción, beneficiado y refinado.

90 . Este crecimiento no es lineal, como hemos visto, ya que según la segunda ley de la termodinámica, el esfuerzo necesario para extraer un mineral de una mina sigue un patrón exponencial junto con la ley del mineral.

91 . Según BP Statistical Review of World Energy, 2019, la minería metálica mundial se estima que consume el 10% de la energía mundial que es de 13.864,9 Mtep (millones de toneladas equivalentes de petróleo).

92 . Su método propone una agrupación de los aportes materiales en cinco categorías inmiscibles entre sí: materiales bióticos y abióticos, movimientos de tierra, agua y aire.

93 . La tierra y el mar biológicamente productivos incluyen las tierras de cultivo, los bosques y las zonas de pesca, y no incluyen los desiertos, los glaciares ni el océano abierto. Los cálculos de la huella ecológica actuales utilizan hectáreas globales como unidad de medida, lo que hace que los datos y los resultados sean comparables a nivel mundial. Los métodos de cálculo están estandarizados, por lo que se pueden comparar los resultados de varias evaluaciones.

94 . Véase, también, https://es.wikipedia.org/wiki/Constante_solar (último acceso 06/06/2022).

95 . La propuesta de llamarla deuda material se debe a Jorge Torrubia, miembro de nuestro equipo de investigación, y pensamos que es una buena elección autoexplicativa.

Índice de contenido

PRÓLOGO. UN BUEN MOMENTO PARA RELER A NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN, Luis Arenas, José Manuel Naredo y Jorge Riechmann

PARTE I. AMPLIAR EL ENFOQUE ECONÓMICO: NECESIDAD DE UN CAMBIO DE PARADIGMA

DE LA REVOLUCIÓN CARNOTIANA AL DESCUBRIMIENTO DEL ASPECTO ENTRÓPICO DEL PROCESO BIOTECNOECONÓMICO. EN MEMORIA DE NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN (1906-1994), Jacques Grinevald

LAS CONTRIBUCIONES DE NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN AL PENSAMIENTO ECONÓMICO DEL SIGLO XX, Óscar Carpintero

¿CUÁNTO TIEMPO SEGUIRÁN IGNORANDO LOS ECONOMISTAS NEOCLÁSICOS LAS APORTACIONES DE GEORGESCU-ROEDEN?, Herman E. Daly

LA CIENCIA ECONÓMICA Y LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS, José Manuel Naredo

ACTUALIDAD DEL PENSAMIENTO DE GEORGESCU-ROEGEN. LA BIOECONOMÍA CINCUENTA AÑOS DESPUÉS DE LA PUBLICACIÓN DE LA LEY DE LA ENTROPÍA Y EL PROCESO ECONÓMICO, Mario

Bonaiuti

LA BRECHA DE LA CIRCULARIDAD Y EL CRECIMIENTO DE LOS MOVIMIENTOS MUNDIALES POR LA JUSTICIA AMBIENTAL, Joan Martinez Alier

1971-1972-1973: LA FALLIDA "REVOLUCIÓN VERNADSKIANA" (BIOECONÓMICA) Y NUESTRO INGRESO EN EL DELIRIO EPISTEMOLÓGICO, Jorge Riechmann

PARTE II. ONDAS EXPANSIVAS: LA REPERCUSIÓN DE GEORGESCU-ROEGEN MÁS ALLÁ DE LA ECONOMÍA

ENTROPÍA Y UTOPÍA. GEORGESCU-ROEGEN Y SU IMPACTO EN EL PROYECTO EMANCIPADOR, Emilio Santiago Muiño

"¿ UNA VIDA CORTA PERO EXTRAVAGANTE?" IMPLICACIONES MORALES DE LA BIOECONOMÍA DE NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN, Luis Arenas

GEORGESCU-ROEGEN Y LA SOCIOLOGÍA: TRES APUNTES, Ernest Garcia

EN BUSCA DE NUEVAS TECNOLOGÍAS VIABLES EN LA ERA DEL DILEMA RENOVABLE, Adrián Almazán y Ramón del Buey

A ORILLAS DEL RÍO PASSAIC: UN DIÁLOGO ENTRÓPICO ENTRE

ROBERT SMITHON Y NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN, Jaime Vindel

PARTE III. CON GEORGESCU-ROEGEN Y MÁS ALLÁ DE ÉL: TERMOECONOMÍA

¡ES LA ENTROPÍA. ESTÚPIDO! EN HOMENAJE A NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN, Antonio Valero y Alicia Valero

BIBLIOGRAFÍA

ACERCA DE LOS AUTORES Y (LAMENTABLEMENTE SOLO UNA) AUTORA

NOTAS